

AperTO - Archivio Istituzionale Open Access dell'Università di Torino

Storia della lotta alle malerbe

This is the author's manuscript

Original Citation:

Availability:

This version is available <http://hdl.handle.net/2318/78718> since

Publisher:

S.I.R.F.I.

Terms of use:

Open Access

Anyone can freely access the full text of works made available as "Open Access". Works made available under a Creative Commons license can be used according to the terms and conditions of said license. Use of all other works requires consent of the right holder (author or publisher) if not exempted from copyright protection by the applicable law.

(Article begins on next page)

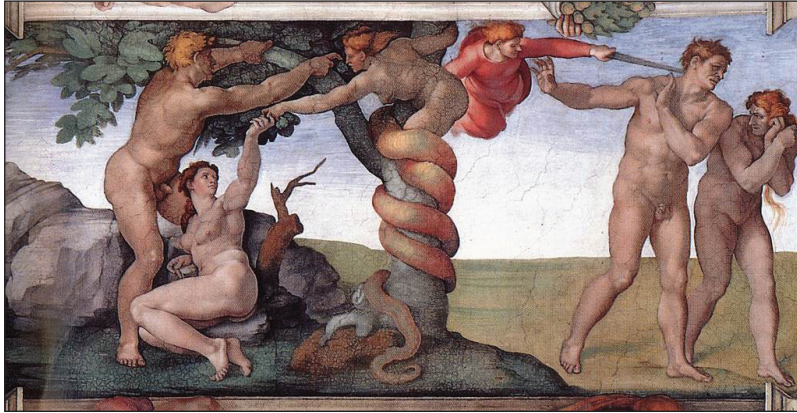
**SOCIETÀ ITALIANA PER LA RICERCA SULLA FLORA INFESTANTE
S.I.R.F.I.**

STORIA DELLA LOTTA ALLE MALERBE

**Aldo Ferrero¹, Francesco Vidotto¹, Elena Costa¹,
Giuseppe Zanin², Pietro Catizone³**

1. Dipartimento di Agronomia, Selvicoltura e gestione del Territorio, Università degli Studi di Torino.
2. Dipartimento di Agronomia Ambientale e Produzioni Vegetali, Università degli Studi di Padova e Istituto di Biologia Agroambientale e Forestale del CNR, sezione di Legnaro "Malerbologia".
3. Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agroambientali, Università degli Studi di Bologna.

In collaborazione con le "Giornate Fitopatologiche"
Marzo 2010



Michelangelo Buonarroti (1475-1564). *Peccato originale e Cacciata dal Paradiso terrestre.*

In Principio...

La storia della lotta alle malerbe è la storia stessa dell'uomo e dell'agricoltura, imprescindibilmente legata all'evoluzione delle colture e ai rapporti socio-economici che via via ne derivarono.

Nella visione biblica l'origine delle malerbe si può far risalire alle origini dell'uomo.

*All'uomo disse: «Poiché hai ascoltato la voce
di tua moglie e hai mangiato dell'albero, di cui
ti avevo comandato: Non ne devi mangiare,
maledetto sia il suolo per causa tua! Con
dolore ne trarrai il cibo
per tutti i giorni della tua vita.
Spine e cardi produrrà per te
e mangerai l'erba campestre.»*

Sono queste le parole con cui il Signore Dio, nella Genesi, si rivolge ad Adamo per punirlo del suo peccato (3, 17 e 3, 18).

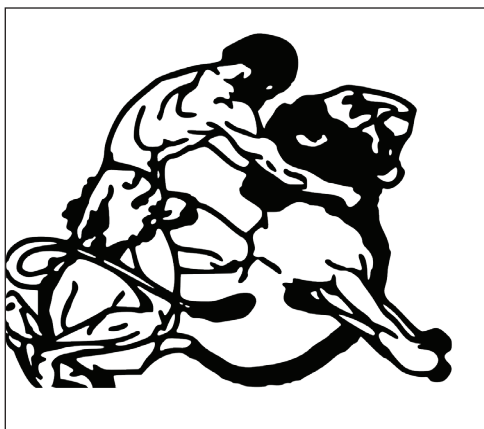
In chiave storica si può affermare, in accordo con Crafts e Robbins (1962), che "in principio non c'erano malerbe" in quanto le piante diventano "male" erbe, solo dal momento

in cui l'uomo si rende conto che queste ostacolano i suoi obiettivi. Si può collocare questo periodo verosimilmente nel neolitico (15.000-10.000 a.C.), quando l'uomo da cacciatore-raccogliitore, diventò agricoltore, iniziando a coltivare le prime forme addomesticate di *Triticum*. Per alcune migliaia di anni, probabilmente, le piante spontanee continuarono più o meno intenzionalmente ad essere utilizzate dall'uomo per la sua alimentazione, come è dimostrato dagli studi condotti sui resti alimentari della mummia di Tollund del VI secolo avanti Cristo (Crafts e Robbins, 1962).

La percezione dei danni provocati dalle malerbe, associata ad una oggettiva difficoltà a combatterle in modo efficace portò alla diffusione di pratiche religiose e all'individuazione di divinità in grado di proteggere le colture da esse. Nella tradizione romana venivano praticati riti religiosi e rivolte preghiere agli dei protettori dei campi. Per evitare l'invasione delle piante spinose si pregava il dio *Spiniensis*, e per rendere efficace l'operazione di sarchiatura veniva invocato, al momento della semina, il dio *Sarritor*. Comuni erano anche i rituali magici. Per prevenire lo sviluppo dell'orobanche e del convolvolo era ritenuta utile la presenza di rami di oleandro ai quattro angoli dei campi, mentre per combattere le malerbe già sviluppate ci si affidava a conchiglie sulle quali era raffigurata con il gesso

l'immagine di Ercole nell'atto di strangolare un leone (Smith e Secoy, 1975).

Nell'epoca antica il successo della lotta alle malerbe era quasi totalmente affidato al ricorso agli strumenti che nel tempo si sono resi disponibili, come la falce, inventata già nel 3000 a.C., gli aratri e gli erpici trainati da animali o schiavi, messi a punto nel periodo compreso



Nella credenza degli antichi agricoltori romani, conchiglie con l'effigie di Ercole nell'atto di strangolare un leone poste nei campi coltivati erano considerate utili per contenere lo sviluppo delle malerbe.

tra il 1000 e il 500 a.C.
(Timmons, 1970)

La necessità della lotta alle piante infestanti e i rimedi adottati dagli agricoltori sono stati descritti in numerose opere degli antichi scrittori greci e romani.



Nel primo secolo avanti Cristo il poeta classico romano Virgilio raccomandava di eliminare le malerbe con il "raster", uno strumento a due denti ricurvi.

Il filosofo e botanico greco Teofrasto (371 – 287 a.C.) nella sua *Storia delle*

piante fece importanti osservazioni sulle associazioni tra colture e malerbe, rilevando che le infestanti sono il risultato della degenerazione di orzo, lino e frumento nel *Lolium temulentum*, soprattutto in aree umide (Smith e Secoy, 1975). Lo stesso autore sosteneva l'utilità di eliminare la vegetazione indesiderata con la monda manuale e meccanica e suggeriva di versare dell'olio di oliva alla base delle giovani piante arboree per devitalizzarle. La necessità di eliminare le malerbe venne descritta anche da Senofonte, un filosofo greco quasi contemporaneo di Teofrasto.

Olio, pece e grasso sono stati citati dallo scrittore romano Plinio il Vecchio (23-79 d.C.) nella sua *Naturalis Historia* come prodotti utilizzabili per la devitalizzazione dei semi delle piante. Plinio richiamò nei suoi scritti anche i suggerimenti del greco Democrito, vissuto circa 5 secoli prima, sull'impiego del succo di cicuta in cui erano stati posti a macerare fiori di lupino, per distruggere alcune piante forestali.

Catone (234-149 a.C.) esaltò le virtù fitocide dell'*amurca*, un liquido acquoso amaro residuo dalla decantazione dell'olio dopo la spremitura. Di questo prodotto veniva suggerito l'impiego in miscela con il terreno per ricoprire le superfici destinate alla trebbiatura dei cereali impedendo sulle stesse lo sviluppo delle malerbe. Varrone (116-27 a.C.), nel trattato *De Re Rustica*, evidenziò per questo prodotto oltre alla sua attività sterilizzante anche una azione nei confronti

di formiche e talpe. Lo stesso autore suggeriva l'impiego di questo liquido alla base degli olivi per impedire lo sviluppo della vegetazione (Thomas, 1987). Sembra riconosciuto che le proprietà fitotossiche dell'amurca fossero dovute alla elevata concentrazione di sale che frequentemente veniva aggiunto alle olive nei frantoi prima della loro frangitura.

Per il controllo delle malerbe il poeta classico romano Virgilio (70-19 a.C.) nel primo libro delle Georgiche, raccomandava l'uso di zappe a denti (*raster*), e la bruciatura delle stoppie dopo la raccolta dei cereali, per devitalizzare i semi delle malerbe caduti sul terreno (Timmons, 1970). Nelle sue opere Virgilio citava anche l'impiego del sale e dell'acqua di mare, prodotti i cui effetti fitocidi erano già stati riferiti sin dal IV sec. a.C. con finalità distruttive e non per usi agricoli. Dopo il saccheggio da parte dei Romani, le terre di Cartagine (146 a.C.) vennero cosparse di sale per impedire la crescita delle colture ed affamare la sua popolazione. Columella (4-70 d.C.), il più importante autore classico romano di scienze agrarie, nel *De Re Rustica* suggeriva l'uso della falce contro le felci e le ripetute zappature alla base delle piante per eradicare i giunchi e le graminacee.

La documentazione sulle tecniche di lotta alle malerbe adottate durante il millennio successivo alla caduta dell'impero romano d'occidente (476 d.C.), è piuttosto limitata e in gran parte di fonte araba. Nel mondo occidentale, particolarmente significative sono le informazioni riportate in *Geoponica*, una collezione di libri di agronomia compilati in un periodo compreso tra il VII e il X secolo d.C. da Cassiano Basso e da vari altri autori. Si tratta di un'opera imponente in cui vengono principalmente richiamate le pratiche agricole utilizzate nel mondo greco e romano prendendo spunto da documenti di autori vissuti in epoche precedenti. Con riferimento alle tecniche di lotta alle malerbe si fa principalmente riferimento all'amurca, alle feci umane essiccate e reidratate e al sale.

Clark e Fletcher (1909), citano uno statuto di Alessandro II di Scozia promulgato tra il 1212 e il 1249, che prevedeva pene severe per tutti i conduttori di terreni che non utilizzavano sementi esenti da semi di malerbe o che non distruggevano piante considerate particolarmente pericolose. L'applicazione

di queste disposizioni fu così efficace che il territorio divenne famoso per la qualità delle produzioni.

Nel mondo arabo merita soprattutto ricordare i suggerimenti riportati nell'enciclopedia di Ibn Qutaybah (828-889 d.C.) per eliminare la vegetazione erbacea con una miscela di sale e di escrementi di anitra o le indicazioni dello storico Al Nuwayri vissuto nel XIV sec. d.C., per distruggere tutti i tipi di piante con un miscuglio di piante aromatiche e sale.

Con l'invenzione della stampa (1456) le conoscenze contenute nelle opere del passato ebbero rapida diffusione. I testi di agricoltura di Catone, Columella e Varrone vennero raccolti in un'unica opera, stampata a Venezia nel 1472 con il titolo *Scriptores Rei Rusticae*. Quest'opera venne ristampata più volte nel secolo successivo e tradotta nella maggior parte delle lingue moderne europee.

I lavori pubblicati nei secoli successivi, fino alle soglie del XX secolo non evidenziarono alcun significativo avanzamento nelle conoscenze sulle malerbe e nelle tecniche di lotta rispetto al passato.

Numerosi scrittori inglesi da Plat, Tusser e Shakespeare nel XVI secolo a Bacone nel XVII secolo, e da Tull, Hale e Dikson nel XVIII secolo, a Hollingshead e Holdick nel XIX (Timmons, 1970; Smith and Secoy, 1975; 1976a; 1976b) si occuparono di malerbe e della loro lotta. Molti di questi autori proposero oltre all'uso di strumenti meccanici, il sale come valido rimedio chimico contro le malerbe con applicazioni localizzate o sulle stoppie dei cereali o nelle are incolte (strade e sentieri).

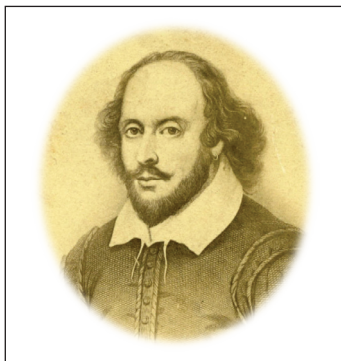
OF GULD.

Gif thi malar (tenant) puttis guld (weeds) in thi land and will nocht deliuer it and clenge it he aw to be punyst puniri sicut seductor qui ducit exercitum in terra domini Regis vel baronis (hanged).

And gif thi natiff man or thi bonde (servant) haf fylit thi land with guld for ilk plant of it he sall gif to the or ony other lord a mutone (wether sheep) to be forfalt and neuer the les he sal clenge the land of the guld.

—Statute of Alexander II of Scotland (1212–1249).

In Scozia venne promulgato nel XIII secolo uno statuto con il quale veniva fatto obbligo di eliminare le infestanti più pericolose ed impiegare sementi esenti da semi di malerbe.



In alcune sue opere, scritte tra il 1592 e il 1599 Shakespeare ha fatto specifico riferimento agli effetti negativi delle piante infestanti.

La lotta alle malerbe nel periodo compreso tra il neolitico e le soglie del XX secolo è stata realizzata, di fatto, manualmente e non ha evidenziato un significativo processo evolutivo nelle tecniche e negli strumenti impiegati, nonostante gli apprezzabili miglioramenti tecnologici ottenuti in campo meccanico. In accordo con Zimdahl (1999), questo periodo di storia dell'uomo può essere definito come l'era [dell'agricoltura] del sangue, del sudore e delle lacrime".

Meccanizzazione, Gestione Agronomica e Studi fra Tradizione e Rinnovamento

Sarà con l'avvento dell'era meccanica", tra fine Settecento e inizio Ottocento che l'attività agricola effettuerà un balzo in avanti.

La lotta alle infestanti, tuttavia, trasse inizialmente dalla meccanizzazione benefici piuttosto limitati, e perlopiù a supporto della scerbatura manuale. Le irroratrici meccaniche, realizzate nel 1887 negli Stati Uniti per il controllo degli insetti, furono impiegate per le infestanti solo dal 1939 in poi. Il primo estirpatore a barra trasversale (rodweeder), specificatamente designato al contenimento delle malerbe, vide la luce all'inizio del Novecento, sempre negli Stati Uniti. Sarà solo dopo il 1925 che il controllo delle malerbe con mezzi meccanici acquisterà importanza ed efficacia (Timmons, 1970).

Tuttavia, bisogna considerare che l'agricoltura in Italia nell'Ottocento era piuttosto arretrata, se paragonata a quella d'oltreoceano e degli altri paesi europei. Infatti, la diffusione delle macchine agricole nel nostro paese risulta, durante l'Ottocento, piuttosto limitata in confronto a quella riscontrabile soprattutto in America, oltre che in Francia, Inghilterra e Belgio (Zanin e Catizone, 2003). Secondo le testimonianze sia di

Ridolfi nelle sue *Lezioni di Agraria* del 1857, sia di Giacomelli nel trattato *Le più recenti ed utili macchine e strumenti rurali* del 1864, solo il rincalzatore, l'erpice e le zappe da cavallo o da tiro venivano impiegati per il controllo delle malerbe, e non diffusamente. Questo limitato sviluppo della meccanizzazione è giustificato dalla situazione storica italiana: il Paese del dopo unificazione era povero e sottosviluppato e l'agricoltura, pur rappresentando il cardine dell'economia, nonché il 55% del prodotto lordo italiano, era assai arretrata.

Per contro, valide e correttamente impostate erano le linee guida di gestione agronomica delle erbe infestanti. Nelle *Lezioni di Agricoltura* del Cuppari (1869) veniva suggerito l'avvicendamento colturale e il maggese, nudo o vestito, e si sottolineava l'importanza di una rapida copertura del terreno da parte della coltura perché potesse essere competitiva verso le infestanti. Esperienza nella pratica agricola e buon senso suggerivano, a quell'epoca, questi accorgimenti, che sarebbero poi diventati i fondamenti del sistema integrato di lotta alle malerbe dei nostri tempi.

Lo studio delle malerbe affonda le sue radici nella botanica, quando studiosi come Bertolini, Pinolini e Sarfatti eseguirono le prime descrizioni, verso la fine dell'Ottocento, di alcune specie infestanti. Un'ulteriore base di questa branca della scienza, la



Nell'800 l'agricoltura Italiana era alquanto arretrata rispetto a quella americana e di altri paesi europei.

malerbologia, riconosciuta ufficialmente come vera e propria disciplina solo dopo quasi un secolo, venne posta dagli studi effettuati nel 1915 da Baroncelli e da Savini sulla valutazione della quantità di “mondiglie” presenti nella granella dei cereali. Questi studi hanno consentito di disporre di informazioni sulla evoluzione floristica avvenuta nel corso degli anni e che ha visto la scomparsa di alcune specie, quali *Centaurea cyanus*, *Lolium temulentum*, *Agrostemma githago*, *Adonis aestivalis* e *Camelina sativa*, a favore di altre maggiormente competitive (Zanin e Catizone, 2003). Lo studio botanico iniziò ad assumere finalità agronomiche con Munerati e Zapparoli, i quali, a inizio Novecento, cercarono di sopperire alla scarsità di informazioni sull'ecologia delle malerbe. Nei loro scritti, sottolinearono come la disseminazione, la longevità e la scalarità di emergenza dei semi delle malerbe fossero alla base della loro capacità competitiva. Essi espressero chiaramente il concetto che le lavorazioni del terreno sortivano risultati limitati in presenza di scalarità di germinazione dei semi, e che la nocività delle malerbe cresceva in presenza di un'agricoltura maggiormente intensiva. Si delineò allora la necessità di una conoscenza in grado di integrare principi di botanica, di ecologia e di dinamica di popolazione delle malerbe con nozioni agronomiche e chimiche, che porterà alla nascita dell'odierna malerbologia.

Tuttavia, prima di giungere all'attuale approccio integrato di gestione delle infestanti, che valuta nel loro complesso tutte le nozioni agronomiche, ecofisiologiche, botaniche, meccaniche e chimiche disponibili, l'agricoltura doveva ancora passare attraverso l'“era chimica” (Zimdahl, 1999). Nel primo periodo dell'epoca così definita, la lotta alle infestanti era quasi esclusivamente affidata all'impiego dei diserbanti chimici considerando unicamente i vantaggi legati all'impiego di questi prodotti e perlopiù trascurando le possibili sfavorevoli ricadute sanitarie e ambientali.

L'Ouverture del Diserbo Chimico

Il sale da cucina è stato, forse, l'unica sostanza erbicida disponibile fin dal periodo classico. Oltre all'esempio storico già menzionato della presa di Cartagine da parte dei Romani nel 146 d.C., il cloruro di sodio ha trovato applicazione ancora nel recente passato sia in Kansas (America), dal 1937 al 1950 per il controllo del *Convolvulus arvensis* lungo le linee stradali e ferroviarie (Call e Getty, 1923), sia in Europa, in particolare in Inghilterra, miscelato alle sementi di frumento, secondo i suggerimenti di Hugh Plat (Smith e Secoy, 1976a; Zanin e Catizone, 2003), e in Germania nel 1854 (Timmons, 1970).

Dall'esperienza del viticoltore francese Bonnet, che nel 1896 notò i danni provocati dalla poltiglia bordolese alle dicotiledoni che infestavano il frumento consociato alla vite, derivò l'impiego del solfato di rame nel diserbo dei cereali. Il fenomeno fu osservato, quasi simultaneamente, anche da Schultz (in Germania) e Bolley (in America). A questa sostanza chimica fecero seguito il solfato di ferro e l'acido solforico, già raccomandati da Kirchhof (1855) per la lotta alle malerbe in Germania, la cui attività fu studiata, in ambito cerealicolo, da Martin e da Duclos nel 1897 (Craft e Robbins, 1962). In particolare, l'acido solforico trovò diffusione in Europa dal 1910 circa e in America dal 1930 per il controllo delle infestanti nei cereali e in alcune colture orticole (Hausmann et al., 1971).

Salting Bindweed.

The application of salt is the most immediately effective method of eradicating bindweed, and perhaps one of the best when the patches are very small.

Many salt companies handle a cheap grade of "bindweed salt" for this purpose.² A limited amount of experience at the Dodge City Branch Experiment Station and among farmers has indicated that the minimum amount of salt to use is ten tons to the acre. In a more extensive test at the Fort Hays Branch Experiment Station the

2. Cheap grades of salt for salting bindweed can be purchased from the following companies: Morton Salt Company, Kansas City, Mo.; Carey Salt Company, Hutchinson, Kan.; Barton Salt Company, Hutchinson, Kan.; American Salt and Coal Company, Kansas City, Mo.; Feeders' Supply Company, Kansas City, Mo.; Sterling Salt Company, Sterling, Kan.; Independent Salt Company, Kanapolis, Kan.

Il sale da cucina è stato il primo prodotto chimico utilizzato per distruggere la vegetazione. Il suo impiego, iniziato già nell'epoca classica, è proseguito sino ai primi anni del secondo dopoguerra del secolo scorso (immagine tratta da Call e Getty, 1923).

Le sue proprietà fitocide furono oggetto di studio in Francia da parte di Rabate e in Italia di Morettini (Rabate, 1911; Morettini, 1915). Francesi e inglesi lo impiegarono diffusamente dagli anni Trenta in poi, mentre in Italia Morettini lo sconsigliò per l'eccessiva aggressività, la scarsa selettività e la difficoltà di distribuzione, ritenendo più opportuna la sarchiatura del grano (Poggi e Ciferri, 1952).

All'inizio del Novecento viene indagata la possibilità di impiego di alcuni composti azotati, quali il solfato d'ammonio, il nitrato di sodio e la calciocianammide, e dei sali di potassio, fra i quali la kainite (Hausmann et al., 1971; Zanin e Catizone, 2003).

L'arsenito di sodio, citato per la prima volta, a detta di Sisto in *Cenni storici sulla evoluzione del diserbo chimico* (1965), nel 1901 (Hausmann et al., 1971), e successivamente segnalato come diserbante da Bolley nel 1908 (Bolley, 1908), rappresenta il primo prodotto chimico oggetto di ampie sperimentazioni in America. Nonostante ne fosse stata riconosciuta l'elevata tossicità, trovò largo impiego per il controllo di infestanti acquatiche. Il prodotto venne utilizzato in Louisiana dal 1902 al 1937 per eradicare il giacinto d'acqua [*Eichornia crassipes* (Mart.) Solms] e nei laghi del Wisconsin nel 1926 per il controllo di specie acquatiche sommerse. Inoltre, fu impiegato



Alla fine del XIX secolo vennero realizzate le prime esperienze di diserbo chimico con solfato di rame, grazie alle osservazioni di Bonnet, in Francia, Schultz, in Germania, e Bolley (immagine), in America.

dal 1913 al 1945 nelle Hawaii per il controllo di specie annuali, in particolare delle erbacee a foglia larga (Timmons, 1970).

Proprio all'americano Bolley occorre, inoltre, riconoscere le prime indicazioni circa l'uso selettivo dei sali dei metalli pesanti e dei composti inorganici in genere come erbicidi nei cereali, caratterizzati da un effetto disseccante sulle foglie e minima traslocazione all'interno della pianta (Zimdahl, 1999).

La fitotossicità del boro e dei suoi composti era nota già dal 1876. Tuttavia, il primo impiego di questo elemento, sotto forma di acido borico e borace, risale al 1926, per il controllo del crespino (*Berberis vulgaris*) e per la sterilizzazione del terreno (Thompson e Robbins, 1926; Haussmann et al., 1971). In America, dopo la scoperta dell'efficacia del borace (tetraborato di sodio) per la lotta all'*Hypericum perforatum* agli inizi degli anni Quaranta, si assistette a un impiego estensivo dei borati, frequentemente miscelati con clorato di sodio. Tuttavia, merita osservare che l'impiego di erbicidi inorganici contenenti metalli pesanti ebbe una evoluzione nel nostro continente, in particolare in Inghilterra sui cereali, più rapida che in America. Il ritardo nello sviluppo e nell'impiego di questi prodotti negli Stati Uniti è legato principalmente alla loro incostante efficacia, in quanto i metalli pesanti, agendo per contatto fogliare, vengono favoriti da elevata umidità e forte piovosità, condizioni climatiche non riscontrabili nelle principali aree cerealicole americane. Pertanto, gli americani contrastarono le infestanti dei cereali adottando alcune pratiche agronomiche, quali maggiore uso di fertilizzante, migliore lavorazione del terreno e impiego di varietà più produttive, affiancate da elevata meccanizzazione altamente specializzata (Zimdahl, 1999).

Il solfuro di carbonio venne impiegato dal 1906 come sterilizzante del terreno in molti Stati americani, raggiungendo il suo massimo utilizzo nel 1936 in Idaho (Timmons, 1970), mentre nei vigneti europei rappresentò un eccellente mezzo di lotta al *Convolvulus arvensis* (Haussmann et al., 1971). Impiegato prevalentemente per la lotta a specie perennanti, il solfuro di carbonio presentava lo svantaggio di essere meno efficace in zone umide e, soprattutto, pericoloso a causa della sua natura esplosiva (Wilson, 1944).

Quando, nel 1931, comparvero i cianati, in particolare il cianato di potassio, si riscontrarono ottimi risultati impiegandoli nel diserbo selettivo delle cipolle e di altre liliacee; tale prodotto continuò ad essere impiegato con soddisfazione almeno sino alla fine degli anni '60 (Hausmann et al., 1971).

La Grande Chimica del Novecento

Il primo erbicida organico venne messo a punto nel 1932 da Pastac e Truffaut: si tratta del DNOC (dinitro-orto-cresolo), già impiegato come insetticida e fungicida in Germania dal 1892. Per favorirne l'attivazione in condizioni climatiche rigide, attraverso l'incremento della solubilità del sale sodico del DNOC, il prodotto venne aggiunto di solfato ammonico, dando origine al DNOC ammonico. Ulteriori studi condotti dalla Dow Chemical portarono alla commercializzazione del Dinoseb, erbicida che ebbe ampia diffusione a partire dal 1948. In Italia il DNOC, introdotto nel 1936, fu l'unico

Some Chlorophenoxyacetic Acids

2,4-Dichlorophenoxyacetic Acid.—Equimolecular quantities of 2,4-dichlorophenol (5.0 g.) and monochloroacetic acid (2.9 g.) were heated with a slight excess (2.7 g.) of sodium hydroxide, and 15 cc. of water, until the solution was evaporated almost to dryness. The residue was then dissolved in 100 cc. of hot water, the solution cooled to room temperature and acidified with hydrochloric acid. A heavy oil separated which soon crystallized. The mixture was extracted with ether, the ether extract washed with water and evaporated to dryness on the water-bath. The yield of 2,4-dichlorophenoxyacetic acid was 5.9 g. (87%); recrystallized from benzene, m. p. 138°; white odorless crystals, almost insoluble in water.

Anal. Calcd. for $C_8H_6O_3Cl_2$: Cl, 32.08; neut. equiv., 221.0. Found: Cl, 32.10; neut. equiv., 221.

2,4,5-Trichlorophenoxyacetic Acid.—Equimolecular quantities of 2,4,5-trichlorophenol (5.0 g.) and monochloroacetic acid (2.4 g.) were heated with a slight excess (2.2 g.) of sodium hydroxide, and 30 cc. of water, until the solution was evaporated almost to dryness. The residue was then dissolved in 200 cc. of hot water and treated as described above. The yield of 2,4,5-trichlorophenoxyacetic acid was 5.5 g. (85%); recrystallized from benzene, m. p. 153°; white odorless crystals, almost insoluble in water.

Anal. Calcd. for $C_8H_3O_3Cl_3$: Cl, 41.63; neut. equiv., 255.5. Found: Cl, 41.57; neut. equiv., 256.

THE C. B. DOLGE COMPANY
WESTPORT, CONN.

ROBERT POKORNY

RECEIVED MARCH 27, 1941

Robert Pokorny pubblicò i risultati dei suoi studi relativi al 2,4-D e al 2,4,5-T già nel 1941 sulla rivista Journal of the American Chemical Society.


diserbante effettivamente commercializzato prima del 1950 (Zanin e Catizone, 2003).

Pietra miliare nella storia del diserbo chimico è la scoperta, da parte di Pokorny nel 1940, dell'acido 2,4-diclorofenossiacetico, il ben noto 2,4-D, il primo vero erbicida, ancora oggi largamente utilizzato dopo oltre 60 anni dalla sua sintesi. Pokorny (1941) sintetizzò questo prodotto, chimicamente simile all'acido indolacetico, ma assai più stabile di questo, partendo dall'osservazione e dallo studio dei regolatori di crescita presenti nelle piante. Con questo lavoro, basato sulla conoscenza della fisiologia delle piante (Went e Thimann, 1937), si era aperta la strada all'utilizzo dei regolatori di crescita come erbicidi (Peterson, 1967).

LA PIÙ SENSAZIONALE NOVITÀ AGRONOMICA DEL DOPOGUERRA


AGROXONE
DISERBANTE SELETTIVO ORMONICO

Ecco una risaia di semina trattata contro porretta



non trattato

MONDA CHIMICA DELLE RISAIE
10.000 ETTARI TRATTATI NEL 1949 - 10.000 SUCCESSI
RICORDATE **AGROXONE**, IL DISERBANTE DEL MIRACOLO



SOLPLANT - MILANO - VIA TURATI 12 - TEL. 632501, 67524, 632772

Il 2,4-D venne inizialmente introdotto in Italia nel diserbo del riso con un forte impegno pubblicitario da parte dell'industria chimica (inserzione apparsa nel 1950 sulla rivista "Humus").

L'interesse per queste scoperte fu tale che si pensò subito di utilizzare questi prodotti anche per finalità belliche. L'esercito americano decise di aprire una stazione di ricerca nel Maryland per la sintesi di questi prodotti da impiegare nella distruzione delle vegetazione (colture e boschi). I risultati delle ricerche, tenuti segreti per anni, furono resi noti solo nel 1946, anno in cui iniziò la commercializzazione del 2,4-D in agricoltura su larga scala per la lotta contro le infestanti a foglia larga. In Italia, questo fenossiderivato vide il suo primo impiego, a livello sperimentale, nel 1948 su riso, in conseguenza di una serie di scioperi delle mondine (Ferrero e Tabacchi, 2000). Intorno alla metà degli anni Cinquanta questo diserbante fu introdotto anche su frumento, orzo e segale. Per le stesse colture vennero introdotti, in rapida successione, altri erbicidi appartenenti alla stessa famiglia chimica (2,4,5-T; 2,4,5-TP; MCPP) (Ferrero, 2004).

Nel frattempo, in Inghilterra veniva messo a punto il diserbante MCPA, chimicamente prossimo al 2,4-D ma di più facile ottenimento in un paese ricco di cresolo (un precursore dello stesso erbicida), derivato dall'industria del carbone, all'epoca ampiamente diffusa in Gran Bretagna. L'MCPA venne commercializzato in Italia a partire dal 1954.

Si può affermare che, realmente, l'"era chimica" dell'agricoltura vide la piena realizzazione con la scoperta di queste sostanze (Zimdahl, 1999; Timmons, 1970). Il loro impiego comportò concrete possibilità di diserbo chimico selettivo su larga scala, benché limitato ai soli cereali.

Nello stesso periodo videro la luce, sebbene riscuotendo minore interesse, anche i carbammati, fra i quali l'IPC (o Propham), seguito da altri prodotti della stessa famiglia, come ad esempio il CIPC (o Clorpropham).

La prima metà del Novecento fu testimone, a livello mondiale, della diffusione e dell'impiego su larga scala degli erbicidi. In soli dieci anni (1940-1950) il numero dei prodotti chimici disponibili in America passò da 15 a 25. Questo elevato incremento ebbe luogo principalmente in America del Nord e in alcuni stati europei, interessando in minor misura l'Italia.

L'introduzione degli erbicidi non modificò sostanzialmente, in quel periodo, l'agricoltura italiana, ancora condotta in modo

tradizionale. Scarsi erano i prodotti disponibili sul mercato e ancora minore era il numero di agricoltori che ne faceva uso. Alcuni studi condotti tra il 1948 e il 1949 dall'Università di Perugia sconsigliavano l'impiego degli erbicidi selettivi a base di 2,4-D, in quanto la scerbatura manuale sembrava dare migliori risultati (Panella, 1951). Inoltre, l'applicazione dei diserbanti selettivi nell'agricoltura italiana era, a quei tempi, ancora fortemente limitata dai numerosi dubbi relativi alla loro convenienza economica. L'impiego di questi prodotti era suggerito soltanto in situazioni di eccezionale infestazione, non facilmente gestibili con i tradizionali interventi di lotta. In un sistema produttivo agricolo come quello italiano, all'epoca ancora relativamente arretrato, il diserbo chimico era percepito come una tecnica eccessivamente sofisticata e non indispensabile.

In Italia, il processo di diffusione dei mezzi chimici fu lento, anche a causa dell'immobilismo, che ha sempre un po' caratterizzato il mondo agricolo, e alla ancora abbondante presenza di manodopera disponibile a costi relativamente contenuti, inferiori a quelli necessari per il diserbo chimico. Un ulteriore ostacolo alla rapida diffusione del diserbo chimico era inoltre rappresentato dal basso livello di meccanizzazione, ed in particolare dalla limitata disponibilità di idonei mezzi meccanici per la distribuzione degli erbicidi.

La convinzione che i mezzi chimici potessero rappresentare lo strumento attraverso cui effettuare un balzo in avanti venne, tuttavia, chiaramente espressa da alcune significative figure dell'epoca, come ad esempio quella di Pratolongo, che definì questi prodotti come la "nuova arma" per l'agricoltura italiana (Pratolongo, 1950).

Durante gli anni Cinquanta, la ricerca Italiana si rivolse principalmente alla sperimentazione in campo di nuove molecole nel tempo introdotte in altri Paesi, dove erano già largamente utilizzate.

L'immediato dopoguerra, tuttavia, rappresentò, per quel che riguarda la storia del nostro Paese, uno spartiacque tra un passato di immobilismo e arretratezza e anni di ricostruzione e di innovazione. Il progresso ebbe ricadute particolarmente significative in ambito agricolo, settore dove si palesarono

miglioramenti sostanziali. La legge Fanfani, emanata nel 1952, che sosteneva finanziariamente l'introduzione di mezzi meccanici nelle aziende agricole, fu accolta con successo e permise un drastico cambiamento nell'organizzazione aziendale (Bandini, 1957).

L'inserimento della pratica del diserbo chimico nella gestione colturale non fu altrettanto rapido, tanto che sino al 1960 si registrava una superficie diserbata, relativa alle colture erbacee di pieno campo, non superiore al 10% del totale. Solo dopo tale data, il diserbo chimico ebbe una rapida diffusione, favorita anche dalla disponibilità di un numero sempre più elevato di erbicidi.



Il sostegno finanziario per l'acquisto di mezzi meccanici, previsto dalla legge Fanfani del 1952, diede un significativo contributo all'innovazione nell'organizzazione aziendale del secondo dopoguerra (inserzione apparsa nel 1952 sulla rivista "Humus").

La Rincorsa Italiana

Negli anni '60-'70, periodo durante il quale tutta l'Italia fu coinvolta nella grande ripresa economica, si assistette ad un significativo sviluppo delle tecniche adottate in agricoltura, in particolare per quanto riguarda la difesa delle colture e, in particolare, dell'impiego degli erbicidi. Nella seconda metà degli anni Sessanta, il nostro Paese riuscì a recuperare il ritardo che lo divideva dagli altri Stati nel settore del diserbo chimico e della malerbologia.

La diffusione della meccanizzazione comportò la possibilità di ampliare la dimensione degli appezzamenti aziendali ed ebbe come conseguenza la semplificazione degli avvicendamenti, con la coltivazione di poche specie, o talvolta di una sola (monocoltura), superando, così, i principi della "Rotazione di Norfolk" che fino ad allora avevano governato gli ordinamenti colturali. La scelta delle specie da coltivare si rivolse principalmente alle annuali, come il mais, facilmente meccanizzabili e gestibili nella concimazione e nella lotta alle infestanti (Ferrero, 2004). La presenza ripetuta di una sola coltura, favorendo infestazioni specifiche sempre più aggressive, fece emergere la necessità di disporre di pratiche di lotta alle infestanti più efficaci.

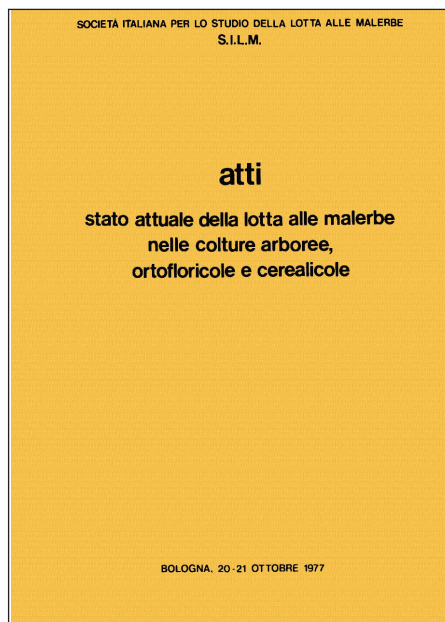
Alla ricerca di nuove formulazioni chimiche si affiancò lo studio degli aspetti floristici ad opera, principalmente, di botanici quali Poggi, Ciferri, Pignatti e Lorenzoni, o di patologi. Gli agronomi, solo sporadicamente si dedicarono allo studio fitosociologico delle malerbe; tra questi, merita ricordare Panella e Haussmann. A mano a mano, si fece strada l'intuizione di quanto fosse necessario formare competenze specifiche nel campo malerbologico, ampliare le conoscenze all'epoca disponibili e divulgarle attraverso una rete informativa ben organizzata.

L'intervento nel settore della lotta alle malerbe da parte dell'industria chimica, coinvolta con interessi economici sostanziali, contribuì a potenziare la ricerca e lo studio in ambito malerbologico. Il mondo scientifico e industriale americano era nello stesso periodo già ben strutturato nella Weed Science Society of America, il cui strumento divulgativo ufficiale, la rivista *Weed Science*, era redatta già dal 1951. In

Europa si arrivò alla creazione di associazioni e di riviste del settore solo a partire dai primi anni '60. Nel 1961 vide infatti la luce, in Francia, il COLUMA (Comité Français de Lutte contre les Mauvaises Herbes). Nel 1975 vennero fondati la società europea EWRS (European Weed Research Society) e, in Italia, la SILM (Società Italiana di Lotta alle Malerbe), successivamente denominata SIRFI (Società Italiana di Ricerca sulla Flora Infestante).

All'inizio degli anni Sessanta vennero introdotte in Italia molecole erbicide innovative, in grado di controllare le malerbe in un numero di colture sempre più ampio (mais, grano in pre-emergenza, riso, orticole), appartenenti a nuove famiglie chimiche derivanti da studi biochimici e fisiologici via via più approfonditi e numerosi.

Vennero commercializzati il linuron, appartenente alla famiglia delle uree, il trifluralin, una dinitroanilina, e il propanile, della



Sull'esperienza di altri Paesi, anche in Italia venne costituita, nel 1975, la Società Italiana di Lotta alle Malerbe (SILM), successivamente denominata Società Italiana per la Ricerca sulla Flora Infestante. Dalla sua fondazione, la società ha organizzato convegni scientifici con cadenza biennale e simposi periodici su varie tematiche di rilevanza malerbologica (nell'immagine, la copertina degli atti del primo convegno).

ricca famiglia delle ammidi. Innovativi erano i meccanismi di azione che caratterizzavano l'attività di queste molecole, le prime due inibitrici della fotosintesi, e la terza della divisione cellulare. Contemporaneamente, vennero messi a punto il dalapon e il TCA, appartenenti agli acidi alcanoici alogenati, per il controllo selettivo della bietola e per gli incolti.

Negli stessi anni vennero selezionati i prodotti triazinici e diazinici, in particolare nel 1963 la simazina, l'anno successivo l'atrazina, quindi il cloridazon, efficaci contro le infestanti a foglia larga del mais e della barbabietola da zucchero, ma utili anche nei frutteti e nei vigneti, la cui estensione si era ridotta nel dopoguerra a favore di una maggiore vocazionalità del territorio e di una superiore specializzazione come colture di pregio. Con questi ed altri diserbanti, le principali colture agrarie italiane vennero a disporre di una gamma di prodotti in grado di risolvere le principali problematiche malerbologiche del tempo.

Dalla metà degli anni Sessanta il numero di erbicidi introdotti sul mercato aumentò in maniera esponenziale: dai dipiridilici (paraquat), ai carbammati (molinate), ai derivati dell'acido benzoico (dicamba), ai benzonitrili (bromofenoxim), e a nuove triazine (terbutrina), per diserbare frutteti e vigneti, riso, frumento, mais. E ancora, poco più tardi, vennero immesse sul mercato le ammidi (alacoloro e metolacoloro), molecole innovative perché capaci di controllare le graminacee in pre-emergenza nel mais, nuove dinitroaniline (pendimetalin), altre triazine (terbutilazina per il diserbo del mais), triazinoni (metamitron per il diserbo della barbabietola) e gli ossadiazolinoni (oxadiazon, per riso, soia e orticole). Questi sono solo alcuni fra i tanti, nuovi erbicidi (la cui cronologia di introduzione è riportata in Allegato, Tabella 1) selezionati fino al 1973, data che segnò l'introduzione commerciale del glifosate (dal 1977 in Italia). Questo erbicida, che sarebbe diventato il più impiegato a livello mondiale, presentava un nuovo meccanismo d'azione (inibizione dell'enzima EPSPS), e costituì il capostipite dei diserbanti in grado di interferire sull'attività degli enzimi, che sarebbero diventati particolarmente importanti alcuni anni dopo.

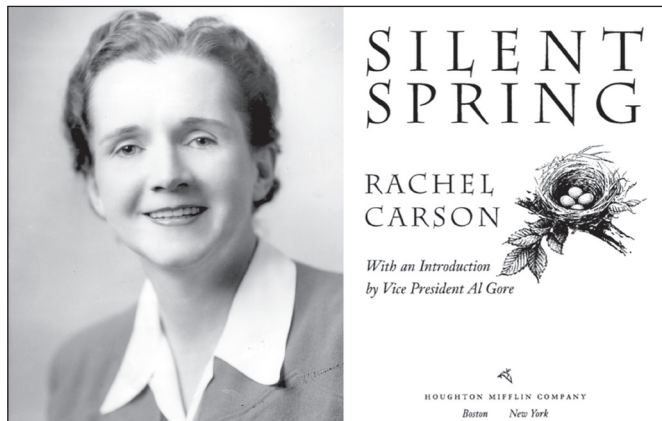
Le nuove famiglie dei “fop” e dei “dim” – arilossifenossipropionati e cicloesenoni –, sfruttando anch’essi meccanismi di inibizione enzimatica, rappresentarono un’ulteriore rivoluzionaria svolta nel controllo chimico a partire dal 1980 (Appleby, 2005). Con questi prodotti, quali ad esempio il diclofop-metile (per il frumento) e il ciclossidim (selettivo per le colture a foglia larga) si aprì l’era dei diserbanti ad elevata efficacia nei confronti delle graminacee in post-emergenza. Merita inoltre ricordare, nell’ambito degli inibitori enzimatici introdotti negli stessi anni, il clopiralid, il picloram e l’oxifluorfen.

Il Diserbo Chimico si Rivela Inscindibile dall’Agronomia

L’impiego generalizzato dei diserbanti, unitamente a quella di altri mezzi tecnici e alla diffusione della meccanizzazione, determinò importanti modificazioni nelle agrotecniche adottate e, più in generale, nella organizzazione aziendale. La scelta delle colture da inserire negli ordinamenti colturali venne ad essere condizionata dalle caratteristiche dei diserbanti impiegati, e in particolare dallo spettro d’azione, dalla selettività e dalla persistenza nel terreno. A seguito della disponibilità di diserbanti in grado di risolvere la maggior parte delle problematiche malerbologiche, tutte le più comuni operazioni di intervento meccanico subirono profonde revisioni. La sarchiatura nel mais o la strigliatura nel frumento, principalmente adottate per la lotta alle malerbe, vennero sempre più frequentemente abbandonate. Gradualmente si diffuse anche la convinzione di poter sostituire l’aratura con lavorazioni più leggere, od anche di rinunciare ad ogni tipo di lavorazione del terreno.

Queste importanti modificazioni crearono relazioni via via più strette fra la gestione delle infestanti e le altre pratiche colturali, come ad esempio la fertilizzazione e l’irrigazione, richiedendo come conseguenza un sempre maggiore coinvolgimento della figura dell’agronomo.

Gli agronomi, quindi, tornarono gradualmente ad occuparsi di aspetti che sono stati storicamente di loro competenza, dopo un breve periodo, corrispondente alla fase iniziale del diserbo



*Con la pubblicazione, nel 1962, di *Silent Spring*, l'autrice Rachel Carson diede voce alle preoccupazioni della pubblica opinione americana sui rischi per l'uomo e l'ambiente legati all'impiego del DDT e più in generale dei prodotti per la difesa delle colture.*

chimico (anni '50-'60), durante il quale la lotta alle malerbe era stata prevalentemente sviluppata da chimici e fitopatologi.

Interpreti importanti della collocazione del diserbo in ambito agronomico sono stati, ad esempio, Bonciarelli e Giardini, con l'inserimento nei loro testi di agronomia delle conoscenze acquisite fino ad allora nella lotta alle malerbe. L'inizio degli anni '70 vide la presenza, nel mondo della ricerca, di un numero sempre più elevato di contributi di carattere malerbologico ad opera di agronomi. Significativa a questo proposito è la nascita, presso l'Istituto di Agronomia Generale e Coltivazioni Erbacee dell'Università di Padova, del *Centro di Studio sui Diserbanti* del CNR (1972). L'anno successivo, il convegno della Società Italiana di Agronomia tenutosi a Torino, intitolato *Lotta alle erbe infestanti*, consacrò definitivamente la malerbologia fra le discipline inserite a pieno titolo nell'agronomia.

La Contropartita della Chimica

Le elevate prestazioni dimostrate dai diserbanti che si sono nel tempo resi disponibili per la maggior parte delle colture agrarie, e la limitata percezione dei possibili rischi ambientali legati al loro utilizzo, hanno alimentato la convinzione che il



Nel 1976 si verificò a Seveso (MI) un incidente in una fabbrica di triclorofenolo, con emissione di diossina. L'evento ebbe un forte impatto emotivo sulla opinione pubblica italiana, anche a seguito delle gravi critiche che si erano diffuse a livello mondiale per gli effetti dannosi sull'uomo della diossina presente nei defolianti impiegati nella guerra del Vietnam.

mezzo chimico potesse rappresentare, di fatto, il principale, se non unico, strumento per la gestione delle malerbe.

Già a partire dagli anni '60, soprattutto in America, iniziarono ad essere sollevate le prime critiche sui rischi per l'uomo e l'ambiente legati al sempre più diffuso impiego di sostanze chimiche per la difesa delle colture. Particolarmente significativa a questo riguardo fu la denuncia sull'uso indiscriminato del DDT, contenuta nel libro *Silent spring* di Rachel Carson, pubblicato nel 1962.

La sensibilità verso queste problematiche aumentò notevolmente soprattutto a seguito di due tragici eventi che contrassegnavano gli anni successivi: l'uso di erbicidi defolianti durante la guerra in Vietnam e l'incidente nella fabbrica di triclorofenolo a Seveso.

In entrambi i casi le conseguenze indussero a serie riflessioni sui rischi che gli erbicidi comportano per la salute umana e per la salubrità ambientale; il potenziale distruttivo degli erbicidi divenne di pubblico dominio.

Secondo le cronache e gli storici, un elevato numero di vietnamiti persero la vita o subirono gli effetti collaterali del TCDD, la diossina contenuta nell'"Agente Arancio" ("Agent

Orange”), il defoliante distribuito su estese superfici di foresta per rivelare i nascondigli dei vietcong e mettere a nudo il sentiero di Ho Chi Minh, attraverso il quale arrivavano i rifornimenti ai guerriglieri. Lo scopo bellico parve all’America una valida motivazione per impiegare questi prodotti, non convenzionalmente classificati come armi chimiche dal Protocollo di Ginevra del 1925. Le elevate quantità di Agente Arancio impiegate, superiori di oltre un ordine di grandezza a quelle utilizzate in ambito agricolo, si sommarono alle migliaia di litri di altri erbicidi noti come Agenti Rosa, Porpora, Bianco, Blu, Verde (per il colore della banda identificativa riportata sui contenitori), distribuiti anch’essi come defoglianti o per la distruzione delle colture.

Di proporzioni assai più contenute, ma altrettanto significative e maggiormente avvertiti dall’intera opinione pubblica italiana, furono le conseguenze della liberazione, il 10 luglio 1976, nei cieli di Seveso, in Lombardia, della diossina sfuggita da una fabbrica di prodotti chimici. Nonostante il ricorso a severe misure per contenere l’esposizione alla diossina, numerose furono le preoccupazioni per i possibili effetti dannosi sulla popolazione.

Al di là degli eventi eclatanti sopra riportati, l’impiego ripetuto e talvolta non appropriato degli stessi diserbanti nel tempo fu la causa di occasionali episodi di contaminazione ambientale che, trascurati inizialmente, vennero allo scoperto col trascorrere degli anni. Dalla fine degli anni Settanta comparvero in Europa le prime segnalazioni sulla contaminazione da atrazina delle falde idriche e dei corsi d’acqua superficiali. Nel 1986 fu la volta del Nord Italia: residui di atrazina, bentazone e molinate superiori ai limiti ammessi nelle acque potabili, secondo una disposizione legislativa di origine comunitaria, vennero rinvenuti nelle falde acquifere. Dopo una serie di limitazioni relative alle dosi e alle aree di possibile impiego, l’atrazina venne definitivamente bandita dal mercato italiano nel 1996.

I rischi per l’ambiente e per l’uomo, legati all’impiego dei diserbanti e, più in generale, di tutti gli agrofarmaci divennero di pubblico dominio, determinando lo sviluppo di un atteggiamento prevenuto e diffidente nella pubblica opinione nei confronti di questi prodotti. Nel frattempo, la semplificazione

degli ordinamenti colturali e l'abbandono di molte pratiche agronomiche tradizionali combinati con un impiego intensivo dei diserbanti favorirono la comparsa di flore di sostituzione e di fenomeni di resistenza agli erbicidi di esteso e ripetuto impiego, creando un sensibile allarme presso gli operatori e la comunità scientifica del settore.

In queste condizioni, negli inerbimenti delle principali colture agrarie si osservava sempre più frequentemente una riduzione numerica delle specie presenti ed una maggiore densità specifica, oltre ad una diffusione di gruppi di infestanti con strette affinità botaniche con le colture. Emblematici a questo riguardo sono ad esempio i casi di diffusione di *Sorghum halepense* nel mais, *Galinsoga* spp. nelle insalate e *Solanum nigrum* nel pomodoro e nella patata.

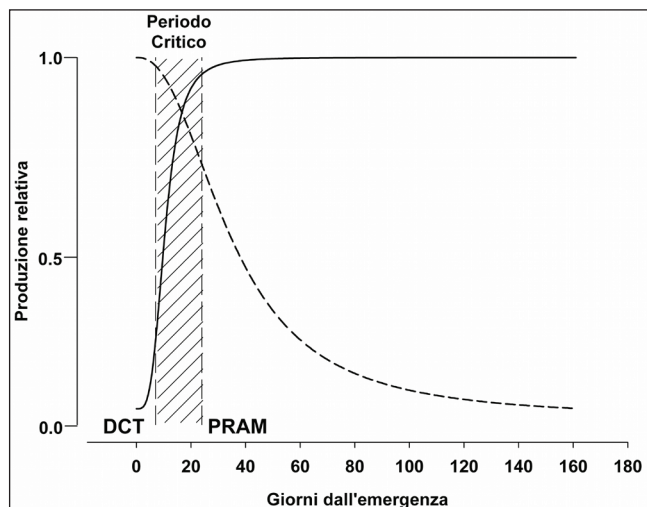
Significativi mutamenti floristici si verificarono inoltre a seguito della diffusione di specie esotiche provenienti da altri areali, introdotte sia deliberatamente, sia in modo involontario. Questo fenomeno è diventato sempre più frequente a partire dal secondo dopoguerra, con l'intensificarsi degli scambi commerciali su scala planetaria, e ha assunto proporzioni preoccupanti soprattutto a partire dalla fine degli anni '90. In taluni casi, le specie esotiche possono formare delle popolazioni stabili nei nuovi ambienti ed in particolari condizioni, favorite dalla assenza di antagonisti, alcune di esse sono in grado di diffondersi rapidamente su ampi territori, assumendo, quindi, un comportamento di tipo invasivo.

La forte dipendenza dai mezzi chimici, inoltre, rese l'equilibrio coltura-diserbo estremamente precario e particolarmente vulnerabile alle variazioni del quadro malerbologico: se agli inizi degli anni Sessanta nel mais era sufficiente un solo intervento con atrazina per ottenere un soddisfacente controllo delle malerbe, dieci anni dopo si rendevano necessarie miscele di diserbanti (atrazina e alacloro) e trattamenti aggiuntivi con prodotti ormonici in post-emergenza (Zanin e Catizone, 2003).

Le soluzioni proposte dall'Agronomia

Il mondo agronomico si impegnò attivamente per fornire il suo contributo alla soluzione delle numerose problematiche connesse alla gestione delle malerbe, nella convinzione che il ruolo dell'agronomia fosse fondamentale per la definizione di strategie operative compatibili con i crescenti vincoli sanitari ed ambientali. A partire dalla fine degli anni '70, in diversi centri di ricerca europei e alcuni anni dopo in Italia, si avviò un'intensa attività di studi sulla ecofisiologia delle malerbe e, in particolare, sui rapporti competitivi tra queste e le colture. Da questi studi originarono numerosi modelli matematici in grado di caratterizzare e quantificare i fenomeni competitivi e di verificare la validità delle possibili strategie gestionali.

Sulla base delle esperienze maturate in altri settori della difesa delle colture (es. contro funghi e insetti) si tentò di applicare il principio della Soglia Critica (SC) al sistema infestanti-coltura, attraverso la valutazione della sostenibilità economica degli interventi di gestione. Tale approccio, il cui obiettivo era quello di individuare valori limite di densità e/o copertura delle infestanti oltre i quali diventa economicamente



Il Periodo Critico rappresenta l'intervallo di tempo all'interno del ciclo colturale durante il quale, al fine di evitare perdite produttive, non devono essere presenti infestanti.

conveniente intervenire con il diserbo, presentava alcuni limiti. Tra questi, il più importante era rappresentato dal fatto che le conoscenze relative agli effetti della competizione delle malerbe nei confronti delle colture si riferivano molto spesso a ricerche su infestazioni monospecifiche, poco rappresentative degli inerbimenti comunemente presenti nelle colture agrarie. Significativi a questo riguardo sono stati gli studi condotti dai malerbologi di Padova sulla individuazione di criteri in grado di definire i rapporti competitivi e le relative soglie critiche per le condizioni di infestazione plurispecifica, attraverso l'introduzione del concetto di "densità equivalente" (Berti e Zanin, 1994).

Considerate le difficoltà per l'agricoltore a tenere il passo con i continui cambiamenti e con l'elevato tasso di innovazione del settore, furono proposti anche sistemi informativi interattivi (Sistemi di Aiuto alle Decisioni, ad esempio GESTINF) (Berti e Zanin, 1997) basati sul concetto di SC che, negli intenti degli autori, avrebbero dovuto guidare gli agricoltori a districarsi fra le innumerevoli e differenziate opzioni di gestione delle infestanti. Questi strumenti evidenziarono, tuttavia, vincoli applicativi e difficoltà operative, legati alla necessità di ricorrere a soli interventi di post-emergenza, alla esecuzione di



L'integrazione del diserbo localizzato lungo la fila della coltura con interventi meccanici nell'interfila consente, nelle colture a file distanziate, di ridurre fino al 70% il quantitativo di diserbante impiegato rispetto ai trattamenti convenzionali a pieno campo.

impegnativi rilievi malerbologici e alla esigenza di aggiornare continuamente il sistema in relazione ai formulati disponibili e alle loro caratteristiche.

Gli studi sui rapporti competitivi tra colture e infestanti portarono anche alla elaborazione del concetto di Periodo Critico (PC), inteso come l'intervallo di tempo in cui è necessario evitare la presenza delle malerbe nella coltura per non pregiudicarne la resa. Il PC presenta alcune similarità con la SC, nel senso che può essere inteso anch'esso come una soglia, ma riferita non già ad una misura del grado di infestazione (densità o copertura), quanto piuttosto ad una frazione di tempo del ciclo di una determinata coltura. Il periodo critico è definito sperimentalmente mediante l'individuazione della Durata della Competizione Tollerata (DCT) e del Periodo Richiesto di Assenza dalle Malerbe (PRAM). Queste due soglie temporali della competizione furono concepite mediante studi realizzati negli USA (Nieto et al., 1968) già verso la fine degli anni '60 e trovarono conferma nelle condizioni italiane a partire dai primi anni '80 (Tei, 1989; Zanin et al., 1989; Ferrero et al., 1991; Montemurro et al., 1991; Sattin et al. 1996; Covarelli e Onofri, 1998; Berti et al., 2009). A titolo di esempio, nel caso del mais e di molte colture a ciclo primaverile-estivo il PC nella pianura padana è risultato compreso tra 15 e 40 giorni dopo l'emergenza (Ferrero et al., 1996). La conoscenza del periodo in cui le piante infestanti non devono essere presenti assume un'importanza fondamentale nella scelta del tipo di prodotto da utilizzare nelle diverse condizioni colturali. Consente ad esempio di privilegiare l'impiego di diserbanti di post-emergenza, di limitata persistenza ed applicabili nelle prime fasi di sviluppo delle colture e delle infestanti, condizioni risultate tra le più favorevoli per la compatibilità del diserbo chimico con la salvaguardia dell'ambiente.

L'esigenza di limitare il carico ambientale e di contenere i costi gestionali del diserbo venne affrontata anche mediante studi volti alla razionalizzazione dell'uso degli erbicidi. Significativo a questo riguardo è stato lo sviluppo, a partire dai primi anni '90, della tecnica della localizzazione del diserbo chimico nelle colture a file distanziate, integrata con interventi meccanici nell'interfila. Con questa pratica è stato possibile, ad esempio nel mais o negli impianti fruttiferi, ridurre del

70% circa i quantitativi di erbicidi distribuiti ad ettaro rispetto ai trattamenti convenzionali a pieno campo (Krausz et al., 1995; Balsari et al., 1993). Gli importanti vantaggi, soprattutto a livello ambientale, della distribuzione localizzata verranno riconosciuti con l'inserimento di tale pratica nell'ambito dei disciplinari di produzione integrata di molte Regioni italiane.

Negli stessi anni, venne messa a punto anche la tecnica delle Dosi Molto Ridotte (DMR). Tale tecnica si fondava sulla possibilità di ottenere una soddisfacente efficacia erbicida anche utilizzando quantità particolarmente contenute di prodotto (fino a 1/10 delle dosi di etichetta), intervenendo su infestanti nelle primissime fasi di sviluppo (e quindi maggiormente vulnerabili), eseguendo interventi frazionati, e sfruttando, per le specie meno sensibili, anche l'indebolimento conseguente all'applicazione di dosi subletali ed il sinergismo manifestato da alcuni erbicidi in miscela (AA. VV., 1995). Uno dei fattori decisivi del successo della tecnica DMR è rappresentato dalla tempestività delle operazioni di monitoraggio delle infestazioni e dell'applicazione degli erbicidi; questa tecnica ebbe particolare diffusione nel diserbo della barbabietola da zucchero, coltura comunemente caratterizzata da un'elevata professionalità degli operatori coinvolti.

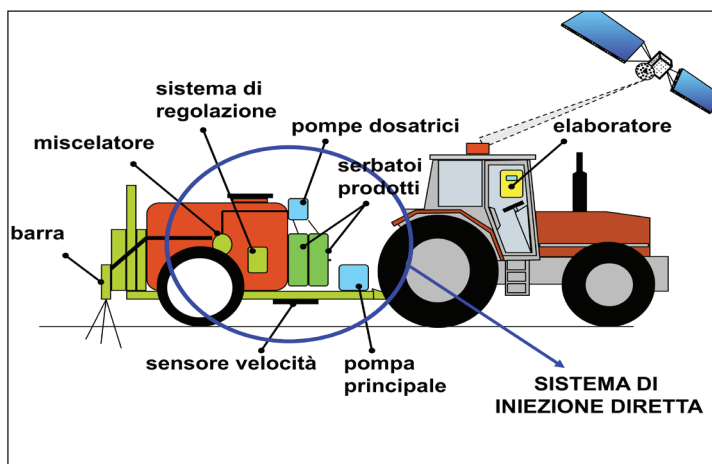
Un tentativo di razionalizzazione del diserbo chimico fu anche quello di modulare l'intervento in funzione della variabilità spaziale delle infestazioni, tipica soprattutto delle coltivazioni su estese superfici. Con questo approccio, proprio dell'agricoltura di precisione, anche noto come "diserbo a tratti", si è inteso limitare l'applicazione del prodotto alle sole aree in cui il grado di infestazione supera determinate soglie. Un perfezionamento del metodo potrebbe consentire di stabilire le dosi e le tipologie di erbicidi da impiegare in relazione ai gruppi di infestanti presenti nelle stesse aree.

Questa modalità operativa trovò condizioni più favorevoli al suo sviluppo con la diffusione dell'applicazione dell'elettronica (e in particolare della sensoristica) alle macchine agricole ed ebbe un particolare impulso verso i primi anni '90, quando il sistema satellitare di navigazione *Global Positioning System* (GPS) si rese disponibile anche per gli impieghi civili (Brase, 2006).

La possibilità di rilevare in automatico la presenza di infestanti è stata esplorata seguendo diversi approcci (riconoscimento morfologico, analisi dello spettro di riflessione e analisi della *texture* visiva). Sebbene molti studi siano stati condotti al riguardo e siano già disponibili alcune applicazioni commerciali, l'automatizzazione del processo di individuazione e riconoscimento delle malerbe rappresenta, ancora oggi, un fattore limitante per un pieno sviluppo della tecnica (Slaughter et al., 2008).

Il sistema di diserbo a tratti può essere gestito attraverso procedure *online* oppure *offline*. Nel primo caso, le aree da trattare vengono individuate durante l'esecuzione del trattamento, attraverso sensori applicati alle macchine per la distribuzione le cui informazioni vengono elaborate in tempo reale per pilotare l'apertura e la chiusura di porzioni di barra o dei singoli ugelli. Nelle procedure offline, l'applicazione differenziata viene effettuata utilizzando mappe elaborate con l'ausilio di sistemi GIS, sulla base di dati di infestazione georeferenziati acquisiti durante monitoraggi (*scouting*) realizzati precedentemente al trattamento (Weis et al., 2008).

Le interessanti prospettive del diserbo a tratti hanno fatto nascere l'esigenza, funzionale ad una corretta applicazione di



Il diserbo a tratti rappresenta la frontiera più avanzata della razionalizzazione del diserbo chimico. Tale tecnica, propria dell'agricoltura di precisione, tiene conto della variabilità spaziale delle infestazioni e mira a limitare il trattamento diserbante alle sole aree in cui sono presenti le malerbe. Essa si basa su di un massiccio impiego delle nuove tecnologie elettroniche ed informatiche.

questa tecnica, di approfondire gli studi relativi alla variabilità spaziale delle infestazioni in campo e, soprattutto, delle dinamiche delle aree infestate. Sebbene lo sviluppo di questo settore della malerbologia sia ancora relativamente limitato, si possono intravedere spunti di ricerca particolarmente stimolanti.

Le migliori conoscenze sui rapporti colture-infestanti consentirono di impostare strategie di gestione delle malerbe basate sulla integrazione di diverse tecniche e modalità di intervento. A livello internazionale venne proposto, già a partire dai primi anni '80 negli USA (Shaw, 1982), il sistema IWMS (Integrated Weed Management System), i cui fondamenti vennero presto accolti anche in Italia. Il sistema non definisce con esattezza rigidi protocolli di intervento, ma piuttosto evidenzia i vantaggi, soprattutto nel medio-lungo termine, conseguenti al costante mantenimento di una visione d'insieme del sistema colturale. I singoli interventi di contenimento della flora infestante effettuati su una certa coltura vengono in questo modo inseriti in un contesto concettuale più ampio, che considera nello stesso tempo molteplici aspetti, tra cui, ad esempio, gli effetti competitivi della coltura, il periodo critico, le lavorazioni del terreno, le dinamiche della banca semi, l'avvicendamento colturale, gli effetti sull'ambiente.

L'approccio suggerito dall'IWMS rivelò ben presto la necessità di approfondire ulteriormente le conoscenze dei singoli fattori che condizionano l'evoluzione delle infestazioni e quella di individuare e quantificare le diverse possibili relazioni fra i fattori stessi. In rapporto a questa esigenza, particolare significato assunse il progetto quinquennale promosso nel 1988 dall'allora MiRAF (oggi MiPAAF: Ministero delle politiche agricole, alimentari e forestali), finalizzato alla ricerca e sperimentazione per la messa a punto di strategie di difesa integrata delle colture e che vide il coinvolgimento dei maggiori esperti italiani nei diversi settori della difesa (Catizone, 1992).

In questo quadro si avvertì presto l'importanza di approfondire le conoscenze sul comportamento ambientale degli erbicidi, anche in funzione delle loro caratteristiche chimico-fisiche, chemiodinamiche ed ecotossicologiche. A questo scopo

vennero avviati studi volti alla messa a punto di strumenti previsionali basati sull'utilizzo di modelli matematici e indici integrati, in grado di tener conto di un elevato numero di variabili quali solubilità, tensione di vapore, costante di Henry, coefficiente di partizione ottanolo/acqua, coefficiente di adsorbimento sul carbonio organico, tempo di dimezzamento, vari parametri tossicologici ed ecotossicologici (LD50, LC50, NOEL, NOEC...), dose di impiego, ecc. Le conoscenze acquisite da questi studi si rivelarono molto importanti nella scelta dei prodotti e delle tecniche da adottare per ridurre l'impatto ambientale del diserbo chimico e risultarono, successivamente, di notevole utilità nella definizione del rischio ambientale durante il processo di valutazione dei prodotti ai fini regolativi.

Accanto a questo processo evolutivo che ha interessato l'intero il settore della difesa delle colture, si svilupparono anche nel nostro Paese sistemi di produzione agricola alternativi a quelli tradizionali, aventi in comune la caratteristica di ridurre o evitare l'uso di risorse energetiche estranee all'azienda, con la totale rinuncia a fertilizzanti e prodotti di sintesi per la difesa (Ferrero e Vidotto, 1998). La nascita e la diffusione di questi metodi di produzione furono favorite anche dallo sviluppo sociale e da una condizione di relativo benessere economico, che avevano permesso da tempo di superare la necessità di disporre di prodotti agricoli a forte valore energetico (grassi, cereali). Si sviluppò da parte del consumatore una crescente domanda di prodotti con caratteristiche qualitative ed estetiche costanti e soprattutto con garanzie di salubrità. Quest'ultimo aspetto assunse nel tempo un'importanza sempre maggiore, in quanto all'idea del prodotto sicuro dal punto di vista sanitario venne associata quella di una tecnica di produzione a basso impatto ambientale. Prese così avvio, in forme diverse a seconda dei modelli già diffusi in altri paesi occidentali, l'agricoltura biologica (*organic farming*). In questo metodo di produzione, il principale fattore limitante è rappresentato proprio dalla gestione delle infestanti (Barberi, 2002). L'impossibilità di utilizzare i mezzi chimici impose la necessità di recuperare le pratiche che avevano governato le produzioni agricole secondo i tradizionali



Negli ordinamenti produttivi biologici, nei quali non è consentito l'uso di prodotti chimici di sintesi, i mezzi meccanici (es. strigliatura) rappresentano un valido strumento per la lotta alle malerbe.

principi dell'agronomia, quali le rotazioni, le lavorazioni del terreno, le scelte colturali e varietali, la gestione della fertilità del suolo. In questo senso, anche l'agricoltura biologica poté sfruttare vantaggiosamente le acquisizioni relative alla biologia delle infestanti e ai rapporti competitivi coltura-infestanti che hanno ispirato i programmi di razionalizzazione della difesa convenzionale. Di particolare importanza fu, inoltre, il processo di aggiornamento di strumenti meccanici tradizionali per la lotta alle malerbe e di sviluppo di nuovi mezzi, che è stato reso possibile dalle nuove conoscenze tecnologiche e dalla disponibilità di nuovi materiali e processi industriali di fabbricazione. Moderni erpici strigliatori, spazzolatrici e vari materiali pacciamanti sono solo alcuni degli esempi delle innovazioni che hanno trovato significativa diffusione nel contesto dell'agricoltura biologica.

Le soluzioni proposte dall'Industria

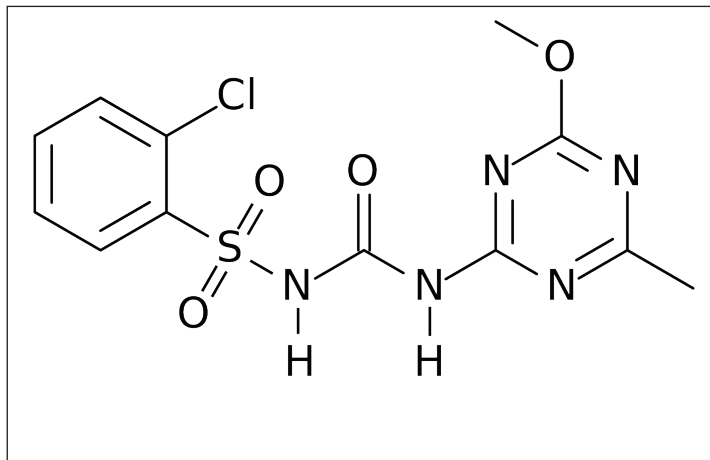
Anche l'industria si impegnò a fondo nella ricerca di soluzioni alle varie problematiche agronomiche e ambientali che via via si presentarono.

Agli inizi degli anni Ottanta videro la luce negli USA nuove famiglie chimiche di diserbanti, che si diffusero nel nostro paese solo qualche anno più tardi. Nel 1986 venne introdotto sul mercato italiano il clorsulfuron, il primo esponente della una nuova famiglia chimica delle sulfoniluree, che non riscosse però molto successo a causa dell'elevata persistenza nei terreni alcalini e subalcalini dei nostri ambienti (Zanin e Catizone, 2003).

Ben altra accoglienza ricevettero altri erbicidi della stessa famiglia chimica, posti in commercio in rapida successione, per l'impiego sulle principali colture italiane, quali bensulfuron-metile e cinosulfuron nel riso, triasulfuron nel frumento, rimsulfuron nel mais, oxasulfuron nella soia e triflursulfuron-metile nella barbabietola da zucchero (Ferrero, 2004).

Sempre a partire dal 1986, vennero posti sul mercato i primi rappresentanti della nuova famiglia degli imidazolinoni, quali imazetapir, per il controllo delle dicotiledoni nella soia e nell'erba medica, e imazametabenz, per la lotta contro le graminacee nel frumento. Il notevole successo riscosso da queste due nuove famiglie chimiche è soprattutto da attribuire ad una serie di caratteristiche innovative prevalentemente rappresentate da un nuovo meccanismo di azione, basato sull'inibizione dell'enzima acetolattato sintetasi (ALS), un'elevata efficacia a dosi d'applicazione ridotte (spesso di pochi grammi per ettaro) (Levitt, 1991), e un favorevole profilo ecotossicologico. Grazie a queste caratteristiche, tali molecole risultarono in grado di soddisfare gran parte dei vincoli derivanti dalle restrizioni sempre più severe imposte da una legislazione europea in continua evoluzione.

Negli stessi anni si intensificarono anche le ricerche sui diserbanti di più vecchia introduzione per migliorarne la compatibilità con le nuove esigenze di salvaguardia della salute umana e di rispetto per l'ambiente. In questo senso va inquadrato, ad esempio, l'impegno dell'industria per incrementare il grado di purezza delle sostanze attive impiegate, eliminando nel processo di fabbricazione le componenti prive di efficacia biologica (ad esempio attraverso l'isolamento degli isomeri attivi). Importanti miglioramenti furono, altresì, ottenuti con la messa a punto di nuove formulazioni basate



Il clorsulfuron, introdotto in Italia nel 1986, è il capostipite di una innovativa famiglia chimica di diserbanti caratterizzata da ridotte dosi di impiego (anche pochi grammi ad ettaro) e generalmente da un favorevole profilo eco tossicologico.

sull'impiego di attivatori dell'assorbimento, di sostanze attive in forma microincapsulata, oppure di coadiuvanti in grado di contenere la deriva. Verso la fine del secolo videro la luce nuove famiglie e sottofamiglie di erbicidi, tutte caratterizzate da meccanismi d'azione basati sull'inibizione enzimatica: si tratta dei trichetoni (sulcotrione), dei callistemoni (mesotrione), dei triazolinoni (es. carfentrazone-etile), degli isossazoli (es. isossaflutolo) e delle solfonilanilidi (es. florasulam).

Nel nuovo millennio il trend di selezione e commercializzazione di nuovi formulati erbicidi, tuttavia, iniziò a ridursi, ed aumentò l'attenzione verso la razionalizzazione dell'impiego del mezzo chimico e la sua integrazione con altri metodi di lotta alle infestanti.

Lo Stato Attuale e le Prospettive

Una nuova soluzione per la lotta alle infestanti, resa possibile dal progresso biotecnologico, è rappresentata dall'impiego di "pacchetti tecnologici" composti da un erbicida abbinato a ibridi o varietà di una coltura transgenica, resa resistente

allo stesso attraverso interventi di modificazione genetica. Mentre in diverse parti del mondo la coltivazione di organismi geneticamente modificati (OGM) rappresenta oramai una realtà consolidata, interessando circa 125 milioni di ettari (considerando sia le varietà resistenti a erbicidi, sia quelle resistenti agli insetti), in Europa il ricorso a questa tecnologia è limitato a circa 100 mila ettari, la maggior parte dei quali presenti in Spagna e relativi a una varietà di mais resistente a lepidotteri (MON810). Nonostante l'Unione Europea disponga di un quadro legislativo specifico relativo all'emissione nell'ambiente di organismi geneticamente modificati (Direttiva 2001/18/CE), agli alimenti e ai mangimi geneticamente modificati (Regolamento (CE) N. 1829/2003) e alla loro tracciabilità (Regolamento (CE) N. 1830/2003), l'opinione pubblica risulta ancora per lo più contraria, anche a causa della scarsa informazione sulle caratteristiche di queste varietà e dei rischi reali connessi al loro impiego. Alla base dell'ostilità nei confronti delle colture transgeniche sono forse da considerare anche motivazioni di ordine ideologico che hanno portato in molti casi ad ignorare i diversi vantaggi derivanti dall'uso di questa tecnologia ed evidenziati dalla ricerca.

Meno problematica da questo punto di vista è risultata l'introduzione sul mercato di varietà in grado di tollerare erbicidi comunemente non selettivi per le stesse colture di appartenenza. A differenza delle varietà transgeniche, la tolleranza agli erbicidi viene ottenuta mediante selezione e miglioramento genetico di tipo tradizionale partendo da linee derivate da mutagenesi indotte (Tan et al., 2005). Lo sviluppo di questa tecnologia ebbe inizio nei primi anni '80, ma soltanto nel decennio successivo furono commercializzate le prime varietà di mais in grado di tollerare erbicidi della famiglia degli imidazolinoni (inizialmente noti come "IMI corn" e successivamente "Clearfield corn"). Notevole successo ha avuto in Italia l'introduzione di una varietà di riso (denominata Libero), tollerante all'imazamox, un erbicida dotato di una elevata efficacia nei confronti della maggior parte delle infestanti del riso. Il grande favore con cui è stata accolta questa varietà è principalmente dovuto alla possibilità di controllare efficacemente il riso crodo, una malerba di difficile

contenimento con le tecniche tradizionali di lotta a causa della sua elevata affinità botanica con la coltura. A partire dalla stagione colturale 2010 verranno introdotte altre varietà di riso tolleranti all'imazamox con ciclo colturale e caratteristiche merceologiche più adatte alle condizioni ambientali e di mercato italiane.

È prevedibile che questa tecnologia possa diffondersi ulteriormente nei prossimi anni ed interessare altre colture, quali girasole, mais e colza, soprattutto nei paesi nei quali sono in vigore divieti o restrizioni alla coltivazione di varietà OGM. Va tuttavia osservato che, in analogia con le colture geneticamente modificate, anche per queste varietà sussiste il rischio di trasferimento dei caratteri di tolleranza all'erbicida impiegato nelle specie infestanti che presentano strette affinità genetiche con la specie coltivata (es. riso – riso crodo, colza-crucifere infestanti, ecc.) (Légère, 2005; Warwick et al., 2003; Shivrain et al., 2007).

Un aspetto che ha già costituito elemento di preoccupazione in passato, ma che diverrà con ogni probabilità una problematica di rilievo nel prossimo futuro, è rappresentato dal fenomeno della resistenza agli erbicidi da parte delle piante infestanti. La prima importante segnalazione si ebbe nel 1968, quando fu scoperta una popolazione di *Senecio vulgaris* resistente alle triazine (Ryan, 1970). Seguirono moltissimi altri casi, che in Italia riguardarono principalmente *Solanum nigrum*, *Amaranthus cruentus* e *Chenopodium album* nel mais diserbato con atrazina (Zanin e Catizone, 2003). Il reale impatto di tale fenomeno per l'agricoltura italiana fu comunque piuttosto limitato, anche a causa della ridotta *fitness* delle infestanti resistenti e della sensibilità di queste piante a diversi erbicidi di post-emergenza. A parte questi casi, per lo più limitati alla pianura padana, il fenomeno della resistenza agli erbicidi ebbe in Italia uno sviluppo relativamente più contenuto rispetto ad altri paesi e la sua portata rimase complessivamente limitata sino alla metà degli anni '90. In questo periodo, infatti, si ebbero le prime segnalazioni di fenomeni di resistenza nei confronti di erbicidi caratterizzati da elevata efficacia e specificità del sito d'azione, come gli inibitori dell'enzima acetolattato sintetasi (ALS) e gli erbicidi inibitori dell'acetil-coenzima A carbossilasi (ACC-asi). In particolare, i primi casi di resistenza ad erbicidi

ALS-inibitori furono registrati su riso in *Alisma plantago-aquatica* e *Schoenoplectus mucronatus* e su frumento duro in *Papaver rhoeas*. Resistenze agli inibitori dell'ACC-asi sono state segnalate in *Avena sterilis*, *Lolium* spp. e *Phalaris paradoxa*.

Da questo momento, le segnalazioni di resistenza agli erbicidi sono diventate sempre più frequenti ed il fenomeno, tuttora in continuo sviluppo, potrà verosimilmente condizionare le strategie di gestione delle infestanti nel prossimo futuro. L'importanza di questo problema ha portato alla costituzione, già nel 1997, del Gruppo Italiano sulla Resistenza agli Erbicidi (GIRE), che raggruppa rappresentanti del mondo della ricerca e di società agrochimiche, con l'obiettivo di monitorare il fenomeno e suggerire le strategie più idonee per prevenirlo e gestirlo. Tra queste, figurano il ricorso alla rotazione colturale, il ponderato avvicendamento (temporale e spaziale) di diserbanti con diversi siti d'azione, l'impiego di miscele di erbicidi e, quando possibile, anche l'utilizzo di mezzi meccanici.

I Vincoli Legislativi

Con l'emanazione della Direttiva 91/414/CEE, l'Unione Europea ha adottato un quadro legislativo comune in materia di prodotti fitosanitari con lo scopo di avviare un processo di ravvicinamento delle legislazioni degli Stati membri e di accertare che i prodotti fitosanitari commercializzati all'interno dell'Unione non presentino rischi inaccettabili per la salute umana (consumatori, agricoltori, popolazione potenzialmente esposta) e per l'ambiente (con particolare riferimento alle acque sotterranee e agli effetti su uccelli, mammiferi, lombrichi e api). Questi nuovi criteri di valutazione hanno riguardato sia le sostanze attive sia i formulati commerciali, interessando, oltre ai prodotti di nuova introduzione, anche quelli già presenti sul mercato sino al 1993, per i quali è stata stabilita una procedura di valutazione nota come "revisione".

La Direttiva, inoltre, ha previsto l'istituzione di un registro (definito "Allegato 1") in cui elencare le sostanze attive che

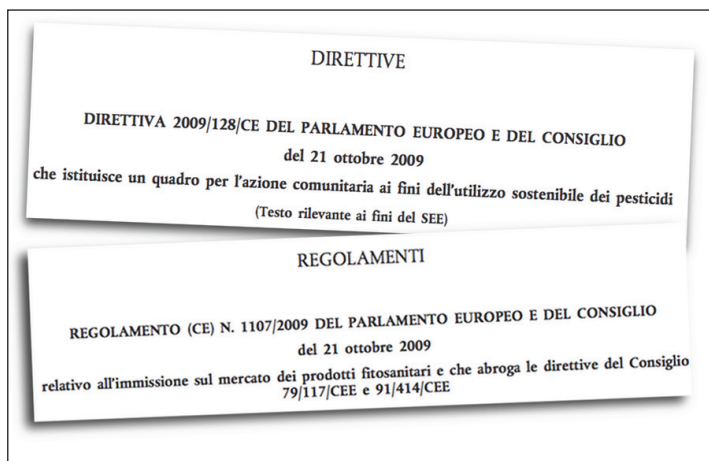
hanno superato positivamente il processo di valutazione (o di revisione). La procedura di revisione, in particolare, ha interessato circa 1000 prodotti e si è protratta nel tempo, articolandosi attraverso varie scadenze, sino al dicembre 2009, consentendo di inserire in Allegato 1 poco più di un quarto dei composti esaminati. La maggior parte dei prodotti (67%) non sono stati inseriti sia perché la documentazione disponibile è stata considerata insufficiente, sia per ritiro volontario da parte delle aziende produttrici. Per i prodotti ritirati volontariamente, è stato accordato un termine di 36 mesi per la vendita e l'impiego, in attesa della valutazione di un nuovo dossier di studi secondo i criteri previsti dalla Direttiva. In relazione a queste disposizioni, tale termine per alcuni fra i più comuni erbicidi di tradizionale impiego, come la terbutilazina e il ciclossidim, verrà a scadere alla fine del 2011.

La valutazione dei prodotti a fini autorizzativi diverrà ancora più selettiva con il Regolamento (CE) N. 1107/09, che verrà applicato in sostituzione della Direttiva 91/414/CEE. Il nuovo regolamento, che entrerà in vigore dal giugno 2011, normerà non solo le sostanze attive, ma anche i sinergizzanti, gli antidoti agronomici, i coformulati e i coadiuvanti, introducendo significative novità, con una sostanziale modifica della procedura autorizzativa attualmente in vigore. Questo provvedimento legislativo fa parte di una serie di iniziative sviluppate dall'Unione Europea nell'ambito di un approccio globale relativo all'uso dei prodotti fitosanitari (*Strategia Tematica sull'Uso Sostenibile dei Pesticidi*), definito nel Sesto programma comunitario in materia di ambiente. Quest'ultimo, ha fissato le priorità e gli obiettivi di politica ambientale dell'Unione Europea per il periodo 2002-2012.

Nel Regolamento (CE) N. 1107/2009 i vincoli a tutela della salute umana e della salvaguardia ambientale risultano ulteriormente restrittivi, poiché viene adottata un'innovativa e più severa metodologia di valutazione delle sostanze basata su criteri di esclusione (*cut off*) che considerano alcune caratteristiche di tossicità per l'uomo, ecotossicità e destino ambientale. Il non soddisfacimento anche di uno solo dei criteri di esclusione pregiudica a priori la possibilità di registrazione della sostanza. In base al nuovo regolamento, tutte le sostanze attualmente

autorizzate, iscritte in Allegato 1, e quelle di futura introduzione, verranno suddivise in 4 categorie: “di base”, “a basso rischio”, “altre” (gruppo nel quale prevedibilmente confluirà la maggior parte dei prodotti autorizzati) e “candidate alla sostituzione”. Mentre i primi tre gruppi comprendono sostanze con requisiti di sicurezza per l’uomo e per l’ambiente tali da non destare particolari preoccupazioni, l’ultima categoria include le sostanze caratterizzate da profilo tossicologico ed ambientale considerato non pienamente favorevole. Per tali sostanze, gli Stati membri dovranno effettuare delle valutazioni comparative con sostanze o metodi di lotta alternativi. L’autorizzazione per le sostanze candidate alla sostituzione potrà essere rinnovata solo in assenza di strumenti di controllo, chimici e non, altrettanto efficaci, economicamente sostenibili o nel caso in cui la sostanza candidata alla sostituzione dovesse risultare strategica per la prevenzione delle resistenze.

Il Regolamento (CE) N. 1107/09, in attesa della sua entrata in vigore, ha già destato alcune preoccupazioni sia nel settore chimico-industriale, sia in quello agricolo. È presumibile che la sua introduzione possa comportare un’ulteriore contrazione del numero di sostanze attive utilizzabili, con la possibile esclusione di molecole erbicide di notevole interesse (es. ioxynil, glufosinate, linuron, molinate, pendimetalin, tralcoxidim) (KEMI, 2008). Secondo alcuni studi la progressiva riduzione del numero dei prodotti fitosanitari disponibili determinerà un



L'applicazione delle recenti normative europee in materia di prodotti fitosanitari determinerà verosimilmente la riduzione del numero di erbicidi utilizzabili.

generalizzato calo delle produzioni vegetali. L'entità di queste stime e la loro attendibilità sono estremamente variabili, e riflettono il clima di incertezza e di apprensione in cui si sta muovendo tutto il settore (Nomisma, 2009).

Per quanto riguarda la gestione delle infestanti, la riduzione del numero di erbicidi disponibili potrebbe determinare un aggravamento dei fenomeni di resistenza. Si ritiene che tra i prodotti già sul mercato rimarranno disponibili prevalentemente quelli di recente introduzione dotati di profilo ecotossicologico più favorevole, ma in gran parte caratterizzati dal medesimo meccanismo d'azione (inibitori dell'ALS e dell'ACC-asi), mentre rischiano, verosimilmente, di essere ritirati dal mercato i prodotti di più comune e tradizionale impiego, messi a punto in tempi più lontani, e con meccanismi di azione diversificati. Considerata la severità di valutazione prevista dalla nuova normativa, è presumibile che le nuove sostanze attive via via proposte dall'industria saranno tendenzialmente simili, tanto nella loro struttura chimica quanto nel meccanismo d'azione, a quelle già autorizzate, con conseguente intensificazione dei già preoccupanti fenomeni di resistenza.

Nell'ambito della *Strategia Tematica sull'Uso Sostenibile dei Pesticidi*, oltre al Regolamento relativo all'autorizzazione dei prodotti fitosanitari, l'Unione Europea ha emanato una Direttiva (2009/128/CE) finalizzata alla riduzione dei rischi e dell'impatto sulla salute umana e sull'ambiente e alla promozione della difesa integrata e di approcci o tecniche alternativi. Tra le numerose linee in cui si articola questa Direttiva, merita in particolare ricordare la definizione di Piani d'azione nazionali (nei quali individuare obiettivi di riduzione dei rischi e le misure che verranno adottate dagli Stati membri per raggiungerli), la formazione obbligatoria degli utilizzatori e degli addetti alla vendita, l'ispezione periodica delle macchine per la distribuzione, l'applicazione dei principi di difesa integrata e la definizione di misure specifiche per la tutela dell'ambiente acquatico. Per quanto riguarda l'ultimo aspetto, la Direttiva promuove il ricorso a misure di mitigazione dei rischi di contaminazione (soprattutto nei confronti dei corpi idrici) conseguenti alla dispersione dei prodotti fitosanitari dovuta a deriva, ruscellamento e lisciviazione.

L'applicazione delle misure di mitigazione, oltre a contribuire a mantenere un'elevata qualità delle risorse naturali, può consentire l'impiego di prodotti fitosanitari che, pur presentando elementi di criticità dal punto di vista ambientale, risultano indispensabili per la protezione delle colture.

Le misure di mitigazione utilizzabili per il contenimento del rischio ambientale legato all'impiego degli erbicidi sono molteplici. Per ridurre i rischi di contaminazione dovuta ai fenomeni di ruscellamento è possibile, ad esempio, ricorrere all'adozione di aree di rispetto non trattate e poste in prossimità di un corpo idrico o di un'area sensibile da proteggere. Tali aree (fasce di rispetto, buffer strips, buffer zone, no spray zone, ecc.) possono essere ricoperte da un manto erboso, che generalmente ne aumenta la capacità di mitigazione. Altre misure di mitigazione del ruscellamento possono essere rappresentate da: solchi (diposti ortogonalmente al flusso di ruscellamento da intercettare); interrimento del prodotto distribuito (attraverso una erpicatura leggera o con una leggera aspersione); riduzione delle dosi d'impiego (es. applicando la tecnica delle Dosi Molto Ridotte); localizzazione del trattamento; utilizzo di colture di copertura.



Le aree di rispetto (fasce tampone) e le siepi assumono un ruolo fondamentale nella mitigazione del rischio di contaminazione dei corpi idrici superficiali conseguente al ruscellamento e alla deriva dei diserbanti e rappresentano un importante strumento per il mantenimento della biodiversità.

Nel caso specifico della deriva, oltre alle aree di rispetto, risultano particolarmente efficaci le barriere vegetate (siepi), e l'impiego di barre irroratrici munite di ugelli antideriva (CCPF, 2009; Zanin et al., 2009; Lazzaro et al., 2008). Più misure di mitigazione possono essere combinate tra loro (es. solco + area di rispetto) per ottenere un effetto maggiore o per consentire, ad esempio, di ridurre le dimensioni dell'area non trattata.

L'adozione di misure di mitigazione è attualmente già prevista (ed indicata in etichetta) per alcuni erbicidi applicati in aree del territorio nazionale ritenute particolarmente sensibili (*aree vulnerabili*, secondo il Dlgs. 152/2006); è prevedibile che nel prossimo futuro l'obbligo di applicazione di queste misure possa venire esteso ad un maggior numero di prodotti.

L'introduzione di misure di mitigazione può essere vista come un ulteriore onere gestionale a carico dell'agricoltura. Tuttavia, molte strutture già presenti nel territorio agricolo e considerate comunque improduttive, quali capezzagne inerbite, aree a vegetazione naturale, siepi, ecc., possono essere vantaggiosamente impiegate a questo fine, fornendo anche un importante contributo alla salvaguardare della biodiversità dell'agroecosistema.

In relazione a questi aspetti, si può osservare che, se fino alla metà degli anni '90 i fattori discriminanti per la scelta degli erbicidi e per la formulazione di piani di diserbo erano sostanzialmente rappresentati dalle prestazioni agronomiche dell'erbicida stesso (efficacia, selettività, persistenza, ecc.), le scelte attuali e future in materia di diserbo chimico saranno sempre più fortemente condizionate da vincoli di natura legislativa.

Bibliografia

AA.VV., 1995. Le tecniche di coltivazione delle principali colture agroindustriali. Agronomica (a cura di), Calderini, Bologna, 384 pp.

Appleby A.P., 2005. A history of weed control in the United States and Canada - a sequel. *Weed Science*, 53, 762-768.

Balsari P., Airoidi G.F., Ferrero A., 1993. Evaluation of the mechanical weed control in maize and soybean. In: Proceedings 8th European Weed Research Society Symposium "Quantitative approaches in weed and herbicide research and their practical applications". Braunschweig. Vol. I, 341-348.

Bandini M., 1957. Cento anni di storia agricola italiana. Edizioni Cinque Lune, Roma, 229 pp.

Barberi P., 2002. Weed management in organic agriculture: are we addressing the right issues? *Weed Research*, 42, 177-193.

Berti A., Sattin M., Baldoni G., Del Pino A.M., Ferrero A., Montemurro P., Tei F., Viggiani P., Zanin G., 2008. Relationships between crop yield and weed time of emergence/removal: modelling and parameter stability across environments. *Weed Research*, 48, 378-388.

Berti A., Zanin G., 1994. Density equivalent - A method for forecasting yield loss caused by mixed weed populations. *Weed Research*, 34, 327-332.

Berti A., Zanin G., 1997. GESTINF: a decision model for post-emergence weed management in soybean (*Glycine max* (L) Merr). *Crop Protection*, 16, 109-116.

Bolley H.L., 1908. Weed control by means of chemical sprays. North Dakota Agricultural Experiment Station Bulletin, 80, 541-574.

Brase T., 2006. Precision agriculture. Cengage Learning, Delmar Pub., 224 pp.

Call L.E., Getty R.E., 1923. The eradication of bindweed. Kansas Agricultural Experiment Station, Circular 101. pp. 18.

Catizone P., 1992. Atti del Convegno "Controllo delle piante infestanti", Progetto Finalizzato Lotta Biologica ed Integrata, Bologna, 21-22 maggio, 384 pp.

CCPF, 2009. Prodotti fitosanitari - Misure di mitigazione del rischio per la riduzione della contaminazione dei corpi idrici superficiali da deriva e ruscellamento. Gruppo di lavoro ad hoc della Commissione Consultiva per i Prodotti Fitosanitari, Luglio 2009, 27 pp. Disponibile presso http://www.salute.gov.it/imgs/C_17_pubblicazioni_1147_ulterioriallegati_ulterioreallegato_2_alleg.pdf (ultima consultazione 02 marzo 2010).

Clark G.H., Fletcher J., 1909. Farm Weeds of Canada. The Hon. Sydney A. Fisher, Minister of Agriculture, Ottawa, 192 pp.

Covarelli G., Onofri A., 1998. Effects of timing of weed removal and emergence in sugar beet. In: Proceedings 6th EWRS Mediterranean Symposium, Montpellier, France, 65-72.

Crafts A.S., Robbins W.W., 1962. Weed control. A Textbook and Manual. McGraw-Hill, New York, 660 pp.

Cuppari P., 1869. Lezioni di Agricoltura. Edizioni Nistri, Pisa.

Ferrero A., 2004. L'evoluzione delle tecniche agricole e delle produzioni. Convegno "L'agricoltura cisalpina fra tradizione e innovazione", Milano 6 Novembre 2003. Atti Accademia dei Georgofili, VII serie, Vol. L, 453-481.

Ferrero A., Scanzio M, Acutis M., 1996. Critical period of weed interference in maize. In: Proceedings of the Second International Weed Control Congress. Copenhagen, Denmark, 171-177.

Ferrero A., Tabacchi M., 2000. L'ottimizzazione del diserbo del riso. In: Atti del XII convegno biennale S.I.R.F.I. "Il Controllo della flora infestante: un esempio di ottimizzazione a vantaggio dell'ambiente e della produzione", Milano, 5-6 dicembre 2000, 111-149.

Ferrero A., Tano F., Maggiore T., 1991. Period of weed infestation and weed-maize competition. In: Proceedings 43rd International Symposium on Crop Protection. Med. Fac. Landbouww. Gent, 673-679.

Ferrero A., Vidotto F., 1998. Mezzi alternativi al diserbo chimico nelle colture orticole. In: Atti dell'XI convegno biennale S.I.R.F.I. "Il controllo della flora infestante nelle colture orticole", Bari, 12-13 novembre 1998, 63-110.

Giacomelli A., 1864. Le più recenti ed utili Macchine e Strumenti Rurali. Loro teoria, costruzione, effetti ed applicazione. Andreola, Treviso, 408 pp.

Hausmann G., Scurti J., Zanardi D. Carboni G., 1971. Piante infestanti e metodi di lotta. Edagricole, Bologna.

KEMI, 2008. Interpretation in Sweden of the impact of the "cut-off" criteria adopted in the common position of the Council concerning the Regulation of placing plant protection products on the market (document 11119/08). Kemikalieninspektionen, Swedish Chemicals Agency, 14 pp.

Kirchhof E., 1855. Das unkraut. Leipzig, Reichenbach, 278 pp.

Krausz R.F., Kapusta G., Matthews J.L., 1995. Evaluation of band vs. broadcast herbicide applications in corn and soybean. Journal of production agriculture, 8, 380-384.

Lazzaro L., Otto S., Zanin G., 2008. Role of hedgerows in intercepting spray drift: Evaluation and modelling of the effects. Agriculture, Ecosystems & Environment, 123, 317-327.

Légère A., 2005. Risks and consequences of gene flow from herbicide-resistant crops: canola (*Brassica napus* L.) as a case study. Pest Management Science, 61, 292-300.

Levitt G., 1991. Discovery of the Sulfonylurea Herbicides. In: Baker R., Fenyès J.G., Moberg W.K. (eds.), Synthesis and Chemistry of Agrochemicals II, American Chemical Society, Washington DC, 16-31.

Montemurro P., Castrignanò A., Sarli G., 1991. Effetti della durata e del periodo di competizione delle malerbe nella coltura del frumento (*Triticum durum* Desf). In: Atti dell'VIII convegno biennale S.I.L.M. "Il controllo della vegetazione infestante il frumento", Rimini 17-18 ottobre, 208-222.

Morettini A., 1915. L'impiego dell'acido solforico per combattere le erbe infeste nel frumento. Staz. Sperim. Agr. Ital., 48, 693-716.

Nieto J.N., Brondo M.A., Gonzales J.T., 1968. Critical periods of the crop growth cycle for competition from weeds. Pest. Art. News Summary, 14, 159-163.

Nomisma, 2009. XI Rapporto Nomisma sull'agricoltura italiana. Il Sole 24 Ore Edagricole, 352 pp.

Panella A., 1951. Sui danni prodotti dalle male erbe nei medicaie e sull'impiego degli erbicidi selettivi. Ann. Sperim. Agr., n.s., vol V, 111-132.

Peterson G.E., 1967. The discovery and development of 2,4-D. Agricultural History, 41, 243-254.

Poggi T., Ciferri R., 1952. Malerbe e lotta. Casa Editrice Fratelli Ottavi, Casale Monferrato (AL), 428 pp.

Pokorny R., 1941. Some chlorophenoxyacetic acids. Journal of the American Chemical Society, 63, 1768.

Pratolongo U., 1950. Anticrittogamici, insetticidi e diserbanti - III Ediz. Ramo Editoriale degli Agricoltori, 322 pp.

Rabate E., 1911. D  struction des revenelles par l'acide sulfurique. J. d'Agr. Prat. (n.s. 21) 75, 407-408.

Ryan G.F., 1970. Resistance of common groundsel to simazine and atrazine. Weed Science, 18, 614-616.

Sattin M., Zanin G., Berti A., 1996. Crop yield loss in relation to weed time of emergence and removal: analysis of the variability with mixed weed infestation. In: Proceedings of the Second International Weed Control Congress, Copenhagen, Denmark, 67-72.

Shaw W., 1982. Integrated weed management systems. Weed Science, 30 (suppl. 1), 2-12.

Shivrain V.K., Burgos N.R., Anders M.M., Rajguru S.N., Moore J., Sales M.A., 2007. Gene flow between ClearfieldTM rice and red rice. Crop Protection, 26, 349-356.

- Slaughter D.C., Giles D.K., Downey D., 2008. Autonomous robotic weed control systems: A review. *Computers and electronics in agriculture*, 61, 63–78.
- Smith A.E., Secoy D.M., 1975. Forerunners of Pesticides in Classical Greece and Rome. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 23, 1050-1055.
- Smith A.E., Secoy D.M., 1976a. Early chemical control of weeds in Europe. *Weed Science*, 24, 594-597.
- Smith A.E., Secoy D.M., 1976b. Salt as a pesticide, manure, and seed steep. *Agricultural History*, 50, 506-516.
- Tan S., Evans R.R., Dahmer M.L., Singh B.K., Shaner D.L., 2005. Imidazolinone-tolerant crops: history, current status and future. *Pest Management Science*, 61, 246-257.
- Tei F., 1989. Competition between *Echinochloa crus-galli* (L.) Beauv and pepper (*Capsicum annuum* L.) . In: Cavalloro R., El Titi A. (eds.), *Weed control in vegetable production: proceedings of a meeting of the EC Experts' Group* , Stuttgart, 28-31 October 1986, A. A. Balkema, Rotterdam, 223-235.
- Thomas R.F., 1987. *Prose into Poetry: Tradition and Meaning in Virgil's Georgics*. *Harvard Studies in Classical Philology*, 91, 229-260.
- Thompson N.E., Robbins W.W., 1926. Methods of eradication of the common barberry (*Berberis vulgaris* L.). U.S. Dept. Agric. Bul., 1451, 3 pp.
- Timmons F.L., 1970. A History of Weed Control in the United States and Canada. *Weed Science*, 18, 294-307.
- Valmori I., 2009. *Annuario diserbanti 2009*. Edizioni L'Informatore Agrario, Verona, 331 pp.
- Warwick S.I., Simard M.-J., Légère A., Beckie H.J., Braun L., Zhu B., Mason P., Séguin-Swartz G., Stewart C.N., 2003. Hybridization between transgenic *Brassica napus* L. and its wild relatives: *Brassica rapa* L., *Raphanus raphanistrum* L., *Sinapis arvensis* L., and *Erucastrum gallicum* (Willd.) O.E. Schulz. *Theoretical and Applied Genetics*, 107, 528-539.

Weis M., Gutjahr C., Rueda Ayala V., Gerhards R., Ritter C., Schölderle F., 2008. Precision farming for weed management: techniques. *Gesunde Pflanzen*, 60, 171-181.

Went F.W., Thimann K.V., 1937. *Phytohormones*. The MacMillan Company, New York, 294 pp.

Wilson H.K., 1944. Control of noxious plants. *Botanical Review*, 10, 279-326.

Zanin G., Berti A., Satin M., 1989. Mais-*Abutilon theophrasti* Medicus: effetto della durata e del periodo di competizione. *Rivista di Agronomia*, 23, 185-192.

Zanin G., Catizone P., 2003. La malerbologia. Dalla metà del XX secolo. I Georgofili, Quaderni 2003-I, Società Editrice Fiorentina, 195-269.

Zanin G., Otto S., Masin R., Ferrero A., Milan M., Vidotto F., 2009. Protezione delle acque superficiali da ruscellamento e deriva: efficacia delle fasce tampone e di altre misure di mitigazione. In: *Atti dell'XVII convegno biennale S.I.R.F.I. "Protezione dei corpi idrici superficiali dall'inquinamento da agrofarmaci"*, Bologna, 19 maggio 2009, 55-85.

Zimdahl R.L., 1999. *Fundamentals of Weed Science*. Academic Press, San Diego, CA., 556 pp.

Appendice

Tabella 1. Cronologia dell'introduzione dei diserbanti in Italia e nel mondo, con indicazione della famiglia chimica, gruppo HRAC, dose media di impiego e DL50 (orale ratto) (da Zanin e Catizone, 2003 - aggiornata).

Introduzione ¹		Nome comune	Famiglia chimica	HRAC ²	dose ³ (g ha ⁻¹)	DL50 (mg kg ⁻¹) orale ratto
Italia	Mondo					
1936	1932	DNOC	Nitrofenoli	M	3000	253
1951	1900	Clorato di sodio	Composti inorganici	Z	30000	4100
1952	1940	Dinoseb	Nitrofenoli	M	1500	42
1954	1944	2,4 D	Acidi fenossialcanoici	O	500	521
1954	1945	MCPA	Acidi fenossialcanoici	O	900	930
1957	1955	MCPB	Acidi fenossialcanoici	O	1575	4700
1958	1957	MCPP	Acidi fenossialcanoici	O	1600	930
1960	1953	Dalapon	Acidi alcanoici alogenati	N	1200	8450
1960	1957	2,4DB	Acidi fenossialcanoici	O	1040	535
1962	1960	Trifluralin	Dinitroaniline	K1	800	10000
1962	1947	TCA-sodio	Acidi alcanoici alogenati	N	20000	4100
1962	1961	2,4 DP	Acidi fenossialcanoici	O	960	800
1962	1964	Prometrina	Triazine	C1	1200	4493
1962	1960	Linuron	Ureici	C2	1250	1350
1962	1960	Propanile	Ammidi	C2	5250	1790
1963	1954	Endothal	Derivato acido ftalico	K1	3000	51
1963	1956	Simazina	Triazine	C1	2000	5000
1964	1958	Clorbupham	Carbammati	K2	1000	2500
1964	1951	Clorpropham	Carbammati	K2	2050	6250
1964	1946	Propham	Carbammati	K2	1700	5000
1964	1950	Naptalam	Ftalammati	P	3500	1770
1964	1957	Atrazina	Triazine	C1	2000	3090
1964	1958	Cicluron	Ureici	C2	640	1500
1964	1957	Diquat-dibromide	Dipiridilici	D	720	120
1964	1958	Paraquat	Dipiridilici	D	720	130
1965	1959	Clortal-dimetile	Derivati acido benzoico	K1	11000	7750
1965	1962	Cloridazon	Diazine	C1	3100	2985
1966	1960	Difenamide	Ammidi	K3	4400	1050
1966	1963	Clortiamide	Benzonitrili	L	8000	757
1966	1958	Monolinuron	Ureici	C2	1128	1960
1968	1960	Dichlobenil	Benzonitrili	L	5500	4460

Tabella 1. *Continua.*

Introduzione¹		Nome comune	Famiglia chimica	HRAC²	dose³ (g ha⁻¹)	DL50 (mg kg⁻¹) orale ratto
Italia	Mondo					
1968	1954	Molinate	Carbammati	N	3630	545
1968	1965	Dicamba	Derivati acido benzoico	O	215	1232
1968	1966	Terbutrina	Triazine	C1	1250	2475
1968	1963	Metobromuron	Ureici	C2	1500	2603
1968	1957	Neburon	Ureici	C2	3000	11000
1969	1965	Metoprotrina	Triazine	C1	1060	5000
1969	1968	Metabenziazuron	Ureici	C2	1750	5000
1970	1960	Ioxinil	Benzonitrili	C3	300	5000
1971	1956	Metam-sodio	Ditiocarbammati	Z	150000	1750
1971	1963	Bromacil	Diazine	C1	4000	5200
1971	1966	Lenacil	Diazine	C1	800	11000
1971	1966	Secbumeton	Triazine	C1	1500	1000
1971	1966	Benziazuron	Ureici	C2	3100	1280
1971	1969	Clorotoluron	Ureici	C2	2025	5000
1972	1969	Asulam	Carbammati	I	1350	4000
1972	1965	Benfluralin	Dinitroaniline	K1	1360	10000
1972	1966	Flurenolo	Morfattine	O	500	6400
1972	1971	Metribuzin	Triazine	C1	280	1695
1972	1966	Terbumeton	Triazine	C1	1500	651
1972	1966	Terbutilazina	Triazine	C1	1000	1795
1972	1954	Diuron	Ureici	C2	3200	3400
1972	1966	Bromofenoxim	Benzonitrili	C3	1500	1217
1973	1966	Alacloro	Ammidi	K3	1080	1140
1973	1965	Propacloro	Ammidi	K3	3250	1125
1973	1958	Dinoseb acetato	Nitrofenoli	M	1600	42
1973	1963	Cicloate	Carbammati	N	5000	3113
1973	1968	Bentazone	Diazine	C3	1600	1582
1973	1969	Oxadiazon	Ossadiazolinoni	E	500	5000
1974	1969	Isopropalin	Dinitroaniline	K1	1800	5000
1974	1968	Pendimetalin	Dinitroaniline	K1	1200	3025
1974	1971	Propizamide	Ammidi	K3	1800	6985
1974	1972	Tiocarbazil	Carbammati	N	4200	10000
1974	1969	Benzoilpropetil	Derivati acido benzoico	Z	1400	1555
1975	1970	Tiobencarb	Carbammati	N	3600	1082
1975	1963	Picloram	Derivati acido picolinico	O	1500	5600

Tabella 1. *Continua.*

Introduzione ¹		Nome comune	Famiglia chimica	HRAC ²	dose ³ (g ha ⁻¹)	DL50 (mg kg ⁻¹) orale ratto
Italia	Mondo					
1975	1968	Metoxuron	Ureici	C2	3400	3200
1976	1971	Dinitramina	Dinitroaniline	K1	750	3000
1976	1969	Etofumesate	Benzofurani	N	1050	5000
1976	1971	Cianazina	Triazine	C1	3000	257
1976	1968	Fenmedifam	Carbammati	C1	900	8000
1977	1973	Glifosate	Organofosforici	G	2460	5600
1977	1974	Metolaclo	Ammidi	K3	1800	1990
1977	1967	Dinoterb	Nitrofenoli	M	1850	62
1977	1954	EPTC	Carbammati	N	5200	1532
1977	1972	Isoproturon	Ureici	C1	1500	2149
1978	1954	Butilate	Carbammati	N	4700	5431
1978	1975	Metamitron	Triazine	C1	2100	1200
1979	1975	Clopiralid	Derivati acido picolinico	O	120	3207
1979	1980	Exazinone	Triazinoni	C1	6000	1690
1980	1975	Diclofop metile	Arilossifenossipropionati	A	820	628
1980	1980	Oxifluorfen	Difenileteri	E	720	5000
1981	1971	Perfluidone	Sulfonammide	Z	900	633
1982	1975	Flamprop-M- isopropile	N-arilalanine	Z	680	4000
1983	1971	Fosamina- ammonio	Organofosforici	Z	10000	14500
1984	1980	Fluazifop-butile	Arilossifenossipropionati	A	500	3315
1984	1982	Setossidim	Cicloesenoni	A	350	2850
1984	1970	Triclopir	Acidi piridilossiacetici	O	890	680
1985	1975	Editimuron	Ureici	C1	6000	5000
1985	1979	Piridate	Piridazine	C3	1000	2000
1986	1982	Metazaclo	Ammidi	K3	862	2150
1986	1981	Clorsulfuron	Sulfoniluree	B	15	5919
1986	1982	Imazametabenz- metile	Imidazolinoni	B	550	5000
1986	1982	Fluorocloridone	Pirrolidoni	F1	800	3825
1987	1971	Desmedifam	Carbammati	C1	70	10250
1987	1980	Acifluorfen	Difenileteri	E	450	1698
1987	1983	Fomesafen	Difenileteri	E	337	1680
1988	1971	Etalfluralin	Dinitroaniline	K1	1400	5000
1988	1971	Napropamide	Ammidi	K3	1500	4820
1988	1985	Pretilaclor	Ammidi	K3	1000	6099

Tabella 1. Continua.

Introduzione¹		Nome comune	Famiglia chimica	HRAC²	dose³ (g ha⁻¹)	DL50 (mg kg⁻¹) orale ratto
Italia	Mondo					
1988	1979	Dimepiperate	Carbammati	N	2500	953
1988	1987	Alossifop-etossietile	Arilossifenossipropionati	A	130	525
1988	1985	Bensulfuron-metile	Sulfoniluree	B	60	5000
1988	1963	Bromoxinil	Benzonitrili	C3	320	485
1989	1985	Fluazifop-p-butile	Arilossifenossipropionati	A	250	3888
1990	1984	Pirazossifen	Pirazoli	F2	2700	1667
1991	1981	Glufosinate-ammonio	Organofosforici	H	600	1810
1991	1985	Ciclossidim	Cicloesenoni	A	250	5000
1991	1982	Fenoxaprop-P-etile	Arilossifenossipropionati	A	270	3575
1991	1983	Fluroxipir	Acidi piridilossiacetici	O	170	2405
1991	1984	Tifensulfuron-metile	Sulfoniluree	B	7,5	5000
1991	1979	Diflufenican	Ammidi	F1	120	2000
1991	1985	Acetoclor	Ammidi	K3	1500	1929
1992	1982	Isoxaben	Ammidi	L	570	10000
1992	1983	Quizalofop-P-etile	Arilossifenossipropionati	A	92	1386
1992	1985	Quinclorac	Chinoline	O	1300	2680
1992	1987	Cinosulfuron	Sulfoniluree	B	80	5000
1992	1983	Imazapir	Imidazolinoni	B	1000	5000
1992	1984	Imazetapir	Imidazolinoni	B	34	5000
1992	1981	Metsulfuron-metile	Sulfoniluree	B	4	5000
1992	1989	Rimsulfuron	Sulfoniluree	B	15	5000
1992	1985	Triasulfuron	Sulfoniluree	B	8	5000
1992	1985	Tribenuron-metile	Sulfoniluree	B	13	5000
1992	1970	Bifenox	Difenileteri	E	1700	5000
1993	1982	Glifosate trimesio	Organofosforici	G	1400	750
1993	1987	Primisulfuron	Sulfoniluree	B	7,5	5050
1993	1971	Desmedifam	Carbammati	C1	85	10250
1993	1986	Aclonifen	Difenileteri	E	1350	5000
1995	1989	Nicosulfuron	Sulfoniluree	B	63	5000
1995	1987	Tralossidim	Cicloesenoni	B	360	1129
1996	1991	Dimetenamide	Ammidi	K3	1280	1570
1996	1987	Cletodim	Cicloesenoni	A	150	1465

Tabella 1. *Continua.*

Introduzione ¹		Nome comune	Famiglia chimica	HRAC ²	dose ³ (g ha ⁻¹)	DL50 (mg kg ⁻¹) orale ratto
Italia	Mondo					
1996	1993	Clodinafop-propargile	Arilossifenossipropionati	A	57	1329
1996	1989	Fenoxapropo-P-etile	Arilossifenossiproionati	A	135	3575
1996	1994	Metosulam	Solfonilanilidi	B	20	5000
1996	1991	Triflusaluron-metile	Sulfoniluree	B	20	5000
1996	1991	Sulcotrione	Trichetoni	F2	325	5000
1997	1994	Prosulfuron	Sulfoniluree	A	15	986
1997	1994	Amidosulfuron	Sulfoniluree	B	23	5000
1997	1995	Azimsulfuron	Sulfoniluree	B	25	5000
1997	1987	Propaquizafop	Arilossifenossipropionati	B	121	5000
1998	1989	Alossifop-etossietile	Arilossifenossipropionati	A	53	525
1998	1993	Cialofop-butile	Arilossifenossipropionati	A	315	5000
1998	1995	Etossisulfuron	Sulfoniluree	B	60	3270
1998	1995	Isossafutolo	Isossazoli	F2	80	5000
2000	1997	Flufenacet	Ammidi	K3	600	1617
2000	1995	Oxasulfuron	Sulfoniluree	B	75	5000
2001	1998	Florasulam	Solfonilanilidi	B	6,25	6000
2001	1995	Imazamox	Imidazolinoni	B	35	5000
2001	1998	Carfentrazone-etile	Triazolinoni	E	20	5143
2001	1989	Flazasulfuron	Sulfoniluree	B	40	> 5000
2001	1998	Profoxydim	Cicloesenoni	A	100	> 5000
2001	1998	S-metolachlor	Ammidi	K3	1152	2577
2002	1999	Iodosulfuron	Sulfoniluree	B	9	2678
2002	1999	Mesotrione	Trichetoni	F2	75	5000
2003	1994	Clomazone	Isossazoli	F3	250	1723
2004	1997	Bispyribac-sodium	Pirimidiniltiobenzoati	B	28.56	2635
2004	1995	Foramsulfuron	Sulfoniluree	B	56.25	> 5000
2004	1994	Imazosulfuron	Sulfoniluree	B	75	> 5000
2004	2004	Penoxsulam	Triazolopirimidine	B	40	> 5000
2005	2001	Mesosulfuron-metile	Sulfoniluree	B	15	> 5000
2007	1994	Halosulfuron-methyl	Sulfoniluree	B	35	1287
2007	2006	Pinoxaden	Fenilpirazoline	A	45	> 5000

Introduzione ¹		Nome comune	Famiglia chimica	HRAC ²	dose ³ (g ha ⁻¹)	DL50 (mg kg ⁻¹) orale ratto
Italia	Mondo					
2008	1998	Orthosulfamuron	Pirimidinilsulfoniluree	B	65	> 5000
2008	2002	Pethoxamid	Ammidi	K3	1200	983

Note

1: Le date devono essere considerate approssimative, in quanto le diverse fonti utilizzate a volte non concordano in merito.

2: classificazione in base al modo d'azione, secondo le indicazioni dell'HRAC (Herbicide Resistance Action Committee).

3: viene riportata una dose media indicativa di impiego.

Oltre a Zanin e Catizone (2003), i dati sono stati ottenuti da Valmori (2009) e dalle banche dati disponibili presso i siti:

<http://extoxnet.orst.edu/>

<http://www.weedscience.org>

<http://www.eu-footprint.org/ppdb.html>

<http://www.sian.it/>.

Tabella 2. *Classificazione HRAC (Herbicide Resistance Action Committee) degli erbicidi sulla base del sito o del meccanismo di azione.*

Nome comune	Famiglia chimica
A	Inibitori dell'acetilcoenzima-A-carbossilasi (ACCasi)
B	Inibitori dell'acetolattato sintetasi (ALS)
C1	Inibitori della fotosintesi a livello del fotosistema II ¹
C2	Inibitori della fotosintesi a livello del fotosistema II ¹
C3	Inibitori della fotosintesi a livello del fotosistema II ¹
D	Inibitori della fotosintesi a livello del fotosistema I
E	Inibitori della protoporfirinogeno-ossidasi (PPO)
F1	Inibitori della biosintesi dei carotenoidi, a livello della fitene desaturasi (PDS)
F2	Inibitori della 4-idrossifenil-piruvato-diossigenasi (4-HPPD)
F3	Inibitori della biosintesi dei carotenoidi con target ignoto
G	Inibitori della 5-enolpiruvil-scichimato-3-fosfato sintetasi (EPSPS)
H	Inibitori della glutamino sintetasi (GS)
I	Inibitori della diidropteroato sintetasi (DHP)
K1	Inibitori dell'assemblaggio dei microtuboli
K2	Inibitori dell'organizzazione dei microtuboli
K3	Inibitori della divisione cellulare
L	Inibitori della sintesi della parete cellulare
M	Distruttori delle membrane
N	Inibitori della biosintesi dei lipidi, senza azione sull'ACCasi.
O	Azione fitormonica
P	Inibitori dell'azione dell'acido indolacetico (IAA)
Z	Meccanismo di azione ignoto

Note

1: gli erbicidi C1, C2 e C3 bloccano la fotosintesi a livello del fotosistema II: i tre sottogruppi si differenziano per un diverso sito d'aggancio specifico.

